

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Příjem a využití dusíku ozimou pšenicí při různých
systémech hnojení**

Bakalářská práce

Autor práce: Anna Procházková

Obor studia: Pěstování rostlin (ATZR)

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Příjem a využití dusíku ozimou pšenicí při různých systémech hnojení“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. 7. 2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval. Dále bych ráda poděkovala vedení katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin za poskytnutí potřebných materiálů a možnosti analýzy vzorků.

Příjem a využití dusíku ozimou pšenicí při různých systémech hnojení

Souhrn

Práce se zabývá příjmem a využitím dusíku ozimou pšenicí, a to při použití různých systémů hnojení. Předpokládáme, že na porostech, kde jsou aplikována minerální dusíkatá hnojiva, bude tento prvek rostlinou využit podstatně lépe, než by tomu bylo u organických hnojiv. Lepší využitelnost dusíku porostem by se tak měla projevit zvýšením výnosu.

Experimentální část byla provedena na dvou pokusných stanovištích s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami, a to konkrétně na stanovišti Praha–Suchdol a Humpolec. Na těchto dvou stanovištích založila katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin v roce 1996 dlouhodobé polní pokusy. V rámci práce byly hodnoceny výsledky z roku 2019 na variantách Kontrola, Kal, Hnůj, Hnůj 1/2 + N, NPK a N.

Z výsledků vyplývá, že nejvyššího výnosu zrna na stanovišti Praha–Suchdol bylo dosaženo na nehnojené variantě Kontrola (7,61 t/ha). Na hnojených variantách došlo k poklesu výnosu, kdy nejnižší výnos byl zjištěn na variantě s kombinovaným hnojením Hnůj 1/2 + N (6,54 t/ha). Na stanovišti Humpolec měly výnosy opačný trend, kdy nejvyšší výnos (12,57 t/ha) byl zjištěn na variantě hnojené minerálním dusíkem (varianta N).

Velký vliv na výsledky měl v daném ročníku vývoj srážek na obou stanovištích. Vzhledem k absenci deště na stanovišti Suchdol bylo v půdě méně vody a odběr dusíku rostlinou tak byl problematický. To ukazují i výsledky odběrů, kdy v Humpolci na hnojených variantách bylo odebráno až o 66 % více dusíku než na Suchdole, kde nejvyšší odběr činil 193 kg N/ha, kdežto v Humpolci 290 kg N/ha.

Vliv použitého hnojiva se projevil také na kvalitě zrna, kdy na obou stanovištích byly sledovány rozdílné obsahy dusíkatých látek v zrně na jednotlivých variantách. Nejvyšší obsahy N-látek byly zaznamenány na variantách s minerálním hnojením (NPK a N), kde zrno z hlediska obsahu dusíkatých látek dosahovalo potravinářské kvality na obou stanovištích. U potravinářské pšenice se hodnoty pohybovaly od 11,66 do 11,91 %.

Klíčová slova: dlouhodobý polní pokus, dusík, ozimá pšenice

Nitrogen uptake and utilization in winter wheat under different fertilization systems

Summary

This thesis is concerned with uptake and utilization of nitrogen in winter wheat while using different systems of fertilization. We assume that the utilization of nitrogen from mineral fertilizers will be considerably higher than the one from organic fertilizers, which should manifest as an increased yield of grain.

Field experiments were conducted on two locations with different soil and weather conditions, specifically at Praha – Suchdol and at Humpolec. The Department of agroenvironmental chemistry and plant nutrition started long-term experiments on these locations in 1996 and still keep them active until this day. This thesis evaluates treatments with different fertilization systems – Control (no fertilizers), Sewage Sludge, Manure, Manure $\frac{1}{2}$ + N (mineral N), NPK and N in harvest year 2019.

The highest yield at Praha-Suchdol was achieved on variation without any fertilizers – Control (the yield was 7.61 t/ha), so the fertilized variations had a yield decrease, the lowest yield was recorded on treatment fertilized with fertilization system Manure $\frac{1}{2}$ + N (the yield was 6.54 t/ha). At Humpolec the amount of yield had an opposite tendency and the highest was recorded on the variation fertilized with system N.

The results on both locations were greatly affected by weather and precipitations registered during the whole season. Due to the water insufficiency in soil at Praha – Suchdol the nitrogen uptake was scarce. This statement is supported by nitrogen uptake by an analysis at Humpolec, which showed that the fertilized variations had on average 66% more nitrogen than at Suchdol. The highest nitrogen uptake at Suchdol was 193 kg N/ha, while at Humpolec the highest nitrogen uptake from soil reached 290 kg N/ha.

The influence of used fertilization system was also noted in the grain quality, both locations had differences in grain crude protein content between all fertilization systems. The highest content of grain crude protein on both locations was registered on treatment fertilized with mineral fertilizers, NPK and N, where the content reached food grade quality. The content varied between 11.66 and 11.91%.

Keywords: long-term field experiment, nitrogen, winter wheat

Obsah

1 Úvod	10
2 Cíl práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Dusík	12
3.1.1 Dusík v půdě	12
3.1.2 Přeměny dusíku v půdě.....	13
3.1.2.1 Amonizace.....	13
3.1.2.2 Nitrifikace.....	14
3.1.2.3 Denitrifikace	14
3.1.2.4 Biologická fixace N ₂	15
3.1.3 Ztráty dusíku	16
3.1.3.1 Volatilizace amoniaku.....	16
3.1.3.2 Vyplavování	17
3.1.4 Dusík v rostlinách.....	17
3.1.4.1 Příjem dusíku rostlinami	18
3.1.4.2 Projevy nedostatku dusíku u rostlin	18
3.1.4.3 Projevy nadbytku dusíku u rostlin	19
3.2 Pšenice	19
3.2.1 Tvorba výnosu.....	20
3.2.2 Technologie pěstování.....	21
3.2.2.1 Požadavky na prostředí	21
3.2.2.2 Jakost zrna	21
3.2.2.3 Zařazení v osevní postupu	22
3.2.2.4 Osiva a odrůdy.....	22
3.2.2.5 Založení porostu	22
3.2.3 Výživa.....	23
3.2.3.1 Nároky na jednotlivé živiny	23
3.2.3.2 Systém hnojení pšenice	28
3.3 Hnojiva	30
3.3.1 Použitá organická hnojiva.....	30
3.3.1.1 Chlévský hnůj	30

3.3.1.2	Kaly z čistíren odpadních vod.....	31
3.3.2	Použitá minerální hnojiva	31
3.3.2.1	Draselná sůl (DS – 50 % K).....	31
3.3.2.2	Superfosfát trojitý – granulovaný (TSP 20-21 % P).....	31
3.3.2.3	Ledek amonný s vápencem (LAV – 26 – 27,5 % N)	31
4	Metodika	33
4.1	Charakteristika pokusných stanovišť	33
4.2	Informace o variantách	33
4.2.1	Uspořádání pokusů.....	33
4.2.2	System hnojení.....	33
4.3	Charakteristika pěstované odrůdy	34
4.4	Stanovení výnosu	34
4.5	Stanovení obsahu dusíku v rostlinách	35
4.5.1	Příprava vzorků a mineralizace.....	35
4.5.2	Destilace a stanovení obsahu dusíku titrací HCl	35
4.6	Odběr dusíku	36
4.7	Bilance	36
4.8	Zpracování výsledků	36
5	Výsledky	37
5.1	Výnos	37
5.1.1	Výnos zrna	37
5.1.1.1	Praha-Suchdol	37
5.1.1.2	Humpolec.....	38
5.1.2	Výnos slámy	38
5.1.2.1	Praha-Suchdol	39
5.1.2.2	Humpolec.....	39
5.2	Obsah dusíku v rostlině.....	40
5.2.1	Obsah dusíku v zrně	40
5.2.1.1	Praha-Suchdol	41
5.2.1.2	Humpolec.....	41
5.2.2	Obsah dusíkatých látek v zrně	41
5.2.3	Obsah dusíku ve slámě	42
5.2.3.1	Praha-Suchdol	43
5.2.3.2	Humpolec.....	43

5.3	Odběr dusíku	44
5.3.1	Praha-Suchdol	44
5.3.1.1	Zrno	44
5.3.1.2	Sláma	45
5.3.2	Humpolec	46
5.3.2.1	Zrno	46
5.3.2.2	Sláma	46
5.4	Bilance dusíku.....	47
5.4.1	Praha-Suchdol	47
5.4.2	Humpolec	48
6	Diskuze	49
6.1	Závislost výnosu na hnojení	49
6.2	Pozitivní vztahy mezi hnojivy	50
6.3	Vliv vláhových poměrů ročníku na odběr N	51
6.4	Obsah dusíkatých látek v zrně	52
7	Závěr	54
8	Literatura.....	55

Seznam grafů

Graf 1 Výnos zrna	37
Graf 2 Výnos slámy	39
Graf 3 Obsah dusíku v zrně	40
Graf 4 Obsah N-látek v zrně	42
Graf 5 Obsah dusíku ve slámě	43
Graf 6 Odběr dusíku	44
Graf 7 Odběr dusíku zrnem a slámou Suchdol	45
Graf 8 Odběr dusíku zrnem a slámou Humpolec	46
Graf 9 Závislost výnosu na hnojení Humpolec	49
Graf 10 Závislost výnosu na hnojení Praha-Suchdol	50

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma koloběhu dusíku v přírodě (Vaněk et al. 2016)	16
--	----

Seznam tabulek

Tabulka 1 Celkové množství N [kg] v různých skupinách systému půda-rostlina-zvíře (Stevenson & Cole 1999)	13
Tabulka 2 Průměrný obsah dusíku ve vybrané plodině [%] v období sklizně (Pavlíková et al. 2007)	17
Tabulka 3 Průměrné složení kalů (Mata-Alvarez et al. 2000)	31
Tabulka 4 Obsah živin ledků vyráběných v ČR (Vaněk et al. 2016)	32
Tabulka 5 Charakteristika pokusných stanovišť	33
Tabulka 6 Dávky živin v aplikovaných hnojivech [kg/ha]	34
Tabulka 7 Výnos zrna na jednotlivých variantách Praha-Suchdol	38
Tabulka 8 Výnos zrna na jednotlivých variantách Humpolec	38
Tabulka 9 Výnos slámy na vybraných variantách Praha-Suchdol	39
Tabulka 10 Výnos slámy na vybraných variantách Humpolec	40
Tabulka 11 Obsah dusíku v zrně Praha-Suchdol	41
Tabulka 12 Obsah dusíku v zrně Humpolec	41
Tabulka 13 Obsah dusíku ve slámě Suchdol	43
Tabulka 14 Obsah dusíku ve slámě Humpolec	44
Tabulka 15 Odběr dusíku Suchdol	45
Tabulka 16 Odběr dusíku Humpolec	47
Tabulka 17 Bilance dusíku Suchdol	47
Tabulka 18 Bilance dusíku Humpolec	48
Tabulka 19 Úhrn srážek [mm] na stanovištích od 1. 9. 2018 do 31. 7. 2019	51
Tabulka 20 Odběry dusíku na jednotlivých stanovištích	52
Tabulka 21 Odběry dusíku z půdy a výnosy zrna	52
Tabulka 22 Obsahy N-látek v zrně na stanovištích Suchdol a Humpolec	53

1 Úvod

Obilniny zaujímají v osevních postupech ČR, již po dlouhá staletí, velmi významný podíl. Dominantní pěstovanou obilovinou dnešních dob je ozimá forma pšenice seté (*Triticum aestivum*). Majoritní podíl v osevním postupu zajišťuje této plodině především její využitelnost. Lze ji totiž zpeněžit, jak k potravinářským, tak i k nepotravinářským účelům.

Stejně tak, jako každý jiný žijící organismus, potřebují i rostliny dostatek živin v dobře přístupné formě. A to jak pro správné fungování základních fyziologických potřeb, tak i pro zajištění, námi požadovaného co možná nejvyššího výnosu.

Toho si byli lidé (zemědělci) vědomi již v dobách starověku, kdy z praxe, ověřené na svých políčkách zjistili, že pokud půdu pohnojí, zajistí si tak dobrou sklizeň a budou mít dostatek potravin. Vůbec prvním hnojením bylo vypalování lesů, teprve až později lidé začali používat jako hnojivo například zvířecí exkrementy. Z důvodu nedostatku podkladů a znalostí fungování rostlinného těla, nebylo možné hovořit o uceleném názoru na výživu rostlin. Až ve druhé polovině devatenáctého století zaznamenala nauka o výživě rostlin velký rozvoj, díky velkému rozmachu přírodních věd. Toto byl první stěžejní krok, který díky poznatkům chemie, včetně analytické, směřoval k minerální podstatě výživy rostlin. Dalším velmi významným pokrokem ve výživě rostlin bylo zformulování minerální teorie výživy rostlin Justusem von Liebigem. Tento muž tak položil základy moderní výživy rostlin, kdy z jeho poznatků vycházíme dodnes (Vaněk et al. 2007).

Díky těmto důležitým událostem dnes již víme, že rostlinné tělo pro svou správnou funkci potřebuje řadu prvků. Ty můžeme dle jejich obsahu v rostlině či významnosti dělit do příslušných skupin. A právě dusík, co se významnosti a obsahu v rostlinném těle týče, rozhodně nemůže být opomíjeným prvkem.

Je totiž součástí mnoha důležitých látek, jako jsou např. aminokyseliny, chlorofyl či nukleové kyseliny. Z čehož je patrnné, že jeho nepostradatelná role je nejen v rostlinách, ale ve všech živých organismech.

Obsah a potřeba příjmu dusíku pro správné fungování daných fyziologických procesů rostlin se liší, jak v závislosti na druhu, tak i na růstové fázi dané rostliny. Jako u každé živiny je třeba dbát na určitou vyváženost. Kdy přílišný nadbytek dusíku může například způsobit jeho ukládání v rostlině ve formě nitrátů, což má za následek zhoršení nutriční hodnoty produktů. Nebo může dojít k tzv. proplavování, které má za následek eutrofizaci vod. Na druhé straně, pokud rostlina nemá dostatek dusíku, je její habitus celkově méně vyvinutý a tvorba výnosotvorných prvků velmi omezená.

Vzhledem k tomu, že křivka vymezující počet obyvatel na naší planetě má vzrůstající trend, tak zemědělství musí a bude muset všechny tyto lidi nasýtit. Výživa (hnojení) rostlin je proto velmi důležitá součást rostlinné výroby, která nám zajistí dostatečné výnosy.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv hnojení na výnos, příjem dusíku ozimou pšenicí, distribuci dusíku ve sklizených produktech a bilanci dusíku.

Hypotézy:

1. Předpokládá se, že na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy bude dosahováno vyšších výnosů než na variantách hnojených pouze organickými hnojivy.
2. Předpokládá se, že celkový odběr dusíku bude vyšší na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy než na variantách, kde bylo použito organické hnojení.

3 Literární rešerše

3.1 Dusík

Dusík a jeho sloučeniny mají nezastupitelné postavení ve všech živých soustavách. Má však také značný vliv na životní prostředí (Balík et al. 2012).

Dle Vaňka et al. (2012) je nepostradatelnou živinou, a to nejen pro rostliny, ale pro všechny živé organismy, včetně půdních mikroorganismů. Živé organismy jej využívají k tvorbě mnoha rozličných organických látek, jako jsou aminokyseliny, bílkoviny, nukleové kyseliny, aminocukry, chlorofyl a další (Balík et al. 2012).

Celkové množství dusíku na naší planetě se odhaduje na $2,17 \times 10^{17}$ t. Soustředěn je hlavně v litosféře, ale pro koloběh dusíku v přírodě má největší význam dusík z atmosféry. Převážně jde o elementární plynný dusík N_2 . Z atmosféry se dusík dostává do půdy prostřednictvím fixace mikroorganismy, hnojivy a ve formě spadů (Vaněk et al. 2012).

Další významný zdroj dusíku je organická hmota v půdě. Organické formy N jsou však většinou pro rostliny nepřijatelné a dusík je zpřístupňován až rozkladnými procesy organické hmoty. Zde má význam především mineralizace a nitrifikace (Balík et al. 2012).

3.1.1 Dusík v půdě

Celkový obsah dusíku v půdě se běžně pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,2 %, což představuje v ornici 3 000 – 6 000 kg N na 1 ha (Vaněk et al. 2007). Celkové množství dusíku v různých skupinách znázorňuje tabulka 1.

Dle Vaňka et al. (2012) převážnou část dusíku v půdě tvoří dusík organických sloučenin. Jedná se o rostlinné a živočišné zbytky, biomasu mikrobů, jejich metabolity, humusové látky vznikající při transformaci organických látek a další.

Rozklad rostlinného materiálu v půdě je extrémně složitým procesem (Jenkinson 1990). I přes to však musí dusík těchto sloučenin přejít v procesech mineralizace na minerální formy ($N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$), jelikož by byl pro rostliny jinak nedostupný.

Množství minerálního dusíku v orniční vrstvě může dosahovat 5 – 10 % celkového N. Obsah minerálního dusíku v půdách se během vegetace mění v závislosti na hnojení, obsahu primární organické hmoty v půdě, hydrotermických podmínkách i na odběru rostlinami (Vaněk et al. 1997 a, b).

Poměrně velká část minerálního dusíku v půdách je ve formě kationtu NH_4^+ fixována v jílových minerálech. Je označován jako NH_4^+F a na výživě rostlin se významněji nepodílí (Vaněk et al. 2012).

Pro hlubší studium dusíku v půdě se využívá frakcionace dusíku organických dusíkatých sloučenin. Snahou je zjistit nejvýznamnější sloučeniny, jejich stabilitu a případný podíl na výživě rostlin. Metod stanovení a jejich modifikací je velké množství. Používají se postupy chemické hydrolýzy za alkalického i kyselého prostředí a různé další chemikálie i biologické metody. Nejčastěji je využívána kyselá hydrolýza (Bremner 1965).

K nejpěstřejším přeměnám dusíku tak tedy dochází v půdě, kde můžeme pozorovat dva základní opačně probíhající procesy. Z hlediska rostlin je nezastupitelným procesem mineralizace organických dusíkatých sloučenin až na amoniak a dále jeho oxidace přes dusitany na konečný produkt nitrifikace – dusičnany. Druhým současně probíhajícím procesem je imobilizace jednoduchých minerálních sloučenin, především v amonné formě, do jednoduchých organických sloučenin. Většina uvedených procesů probíhá za přítomnosti mikroorganismů (Stevenson 1982; Mengel & Kirkby 2006).

Uvedené procesy jsou významně ovlivňovány obsahem uhlíku a jeho formami v půdě, dále poměrem C:N, oxidačně-redukčními podmínkami, vlhkostními a teplotními poměry půdy (Burger & Jackson 2003; Knoepp & Swank 2002).

Tabulka 1 Celkové množství N [kg] v různých skupinách systému půda-rostlina-zvíře (Stevenson & Cole 1999)

Oddělení	Burns a Hardy ³	Soderlund a Svensson ⁹
Rostlinná biomasa	1×10^{14}	$1,1 - 1,4 \times 10^{13}$
Živočišná biomasa	1×10^{12}	2×10^{11}
Odpady	-	$1,9 - 3,3 \times 10^{12}$
Organická hmota v půdě	$5,5 \times 10^{14}$	3×10^{14}
Půdní biomasa	-	5×10^{11}
Pevný NH_4^+	-	$1,6 \times 10^{13}$
Rozpustný anorganický	1×10^{12}	?

3.1.2 Přeměny dusíku v půdě

3.1.2.1 Amonizace

Nejvíce přístupného dusíku se běžně nalézá v ornici, kde se dusík uvolňuje mineralizací organických látek. Takto uvolněný dusík ze stabilních, především organických, sloučenin je pro výživu rostlin rozhodující.

Během mineralizačních procesů tak vznikají formy dusíkatých látek, které jsou snadno detekovatelné moderními analytickými postupy. Jejich stanovení bývá poměrně jednoduché. Obecně jsou označovány, jako tzv. lehce mineralizovatelné formy N (Balík et al. 2012).

V procesu amonizace je z lehce rozložitelných organických látek (aminokyseliny, amidy, aminocukry, organické látky biomasy odumřelých mikroorganismů) a dále i postupným rozkladem složitých látek (např. polypeptidů na peptidy až na aminokyseliny) uvolňovaný NH_3 . Uvedený dusík je zdrojem N pro mikroflóru a může být využíván i rostlinami (Vaněk, Ložek et al. 2013). Případně jako kationt NH_4^+ je v půdě sorbován na půdní koloidy. Přítomnost koloidů v půdě dává předpoklady výměnné sorpci iontu NH_4^+ a většinou značně omezuje možnost ztrát dusíku vytěkáním a také většího pohybu v půdním profilu (Vaněk et al. 2012).

Předpokládá se, že NH_3 je přijímán přednostně, zvláště při vyšším pH. Amonný iont působí inhibičně na příjem nitrátové formy N. Vznikem aminokyselin a iontů H^+ jako produktu asimilace NH_4^+ se v cytoplazmě zvyšuje acidita, která může neutralizací transmembránového gradientu pH v kořenových buňkách omezit přenos iontů NO_3^- přes membránu do buňky.

Při výživě rostlin amoniakálním dusíkem je celkově nižší příjem většiny iontů, ale zvláště kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) a organických aniontů.

Z energetického hlediska je amonný dusík výhodným zdrojem pro rostliny, protože může být přímo zapojen do metabolismu bez dalších požadavků na energii. Tuto výhodu můžeme pozorovat jen při nízkých koncentracích NH_4^+ dusíku v živném prostředí.

Z chemických analýz vyplývá, že deprese růstu při NH_4^+ výživě není způsobena zvýšenou kumulací dusíkatých iontů, ale vyčerpáním sacharidů. Amoniak potom není rostlina schopná využít, a tak se zvyšuje alkalita buněk. Volný amoniak v buňce blokuje fotosyntetickou fosforylaci, omezuje dýchací procesy a snižuje oxidoredukci (Richter & Hlušek 1999).

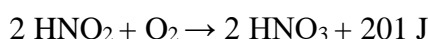
3.1.2.2 Nitrifikace

Jednotlivé procesy přeměn N v půdách, především nitrifikace a denitrifikace, se značně podílejí a spolurozhodují o distribuci N v půdě, a tím i využití N rostlinami (Vaněk et al. 1997 c).

Dle Woldendorpa (1975) tento proces probíhá ve dvou krocích, každý vykonaný různými organismy. V prvním kroku se amoniak oxiduje na dusitan. Tento krok mohou provádět čtyři rody bakterií (tzv. nitritační), z nichž nejdůležitější je *Nitrosomonas*.



Ve druhém kroku je dusitan oxidován na dusičnan. Do oxidace dusitanů mohou být zapojeny tři rody bakterií (tzv. nitratační) z nichž nejdůležitější je především rod *Nitrobacter*.



Kromě výše uvedených bakterií může velké množství dalších mikroorganismů tvořit malá množství dusitanů a dusičnanů z organických a anorganických redukovaných dusíkatých sloučenin (tzv. Heterotrofní nitrifikace).

Bylo zjištěno, že je možné zpomalit nitrifikační proces v terénu pouze použitím takových inhibitorů, jako je 2-chlor-6-(trichlormethyl)-pyridin.

Obecně jsou nitrifikační bakterie citlivější na extrémní podmínky prostředí než mikroorganismy podílející se na procesu amifikace.

Dle Vaňka et al. (2012) má rozhodující vliv na nitrifikaci:

- teplota – optimální je 25 – 30 °C, nitrifikace je značně omezena při nižších teplotách a pod 5 °C téměř ustává.
- dostatek vzduchu a vody v půdě – dostatek vzduchu, a tím i kyslíku je předpokladem oxidačních procesů a vždy souvisí s obsahem vody, tedy s vyplněním pórů plynnou a kapalnou složkou. Optimální vlhkost se pohybuje většinou okolo 70 % maximální vodní kapacity, proto při jiných poměrech vody a vzduchu je nitrifikace omezena. V suché půdě téměř neprobíhá.
- pH prostředí – vyhovující jsou podmínky slabě kyselé až zásadité reakce, nitrifikace je značně omezena při pH < 5,5.
- hnojivo – vliv doprovodných iontů a pH hnojiva.

3.1.2.3 Denitrifikace

Denitrifikace je mikrobiální proces redukce dusičnanů a dusitanů na plynné formy dusíku, zejména oxidu dusného (N₂O) a dusíku (N₂). Denitrifikovat může celá řada mikroorganismů. Jedná se o reakci na změny koncentrace kyslíku (O₂) v jejich bezprostředním prostředí. Pouze, když je O₂ omezen, denitrifikační bakterie se přeorientují z aerobního dýchání na anaerobní dýchání, přičemž jako elektronový akceptor použijí dusitan (NO₂).

Jedná se o proces všudypřítomný všem našim suchozemským a vodním ekosystémům. Vyskytuje se v tropických a mírných půdách, v přírodních a intenzivně spravovaných ekosystémech, v mořském a sladkovodním prostředí, v čistírnách odpadních vod, skladech hnoje a zvodnělých vrstvách (Skiba 2008).

Dle Martense (2004) je produkce oxidu dusného z půd spojena s dvěma biologickými procesy. První je během procesu nitrifikace NH₄⁺ za aerobních podmínek a druhá je spojená cesta nitrifikace/denitrifikace, která se vyskytuje za anaerobních podmínek. Dráha navržená pro

nitrifikační organismy k uvolňování N₂O během nitrifikačního procesu byla definována jako nitrifikační denitrifikace.

Denitrifikační cesta je převládající, kdy NO₃⁻ se vytvoří mikrobiální redukcí dusíkatých oxidů a stanoví se správné podmínky prostředí (nízká nebo žádná koncentrace O₂ a vysoký obsah rozpustného C). Pojem „denitrifikace“ nebo „respirační denitrifikace“ byl definován jako bakteriální respirační proces a jako takový je nutné rozlišovat mezi denitrifikační cestou a nitrifikační denitrifikační cestou, protože relativní podíl produkce N₂O z těchto cest je ovlivněn různými podmínkami prostředí.

Třetí cesta zahrnující chemický rozklad NO₂⁻ byla také nalezena v půdách a může být převládající v prostředích s nízkým pH.

Nebiologické dráhy neboli chemodenitrifikace jsou tak úzce spojeny s nitrifikací, že je často obtížné určit, zda se produkovaný oxid dusnatý (NO) a N₂O vytvářejí nitrifikací nebo chemodenitrifikací.

S ohledem na tyto skutečnosti lze tento proces obtížně vyjádřit. Zde je možné schéma denitrifikačního procesu za účasti denitrifikačních mikroorganismů.



Podmínkou průběhu denitrifikace je nedostatek kyslíku v půdě, přítomnost nitrátů a dostatek lehce rozložitelných organických látek. Rychleji probíhá v neutrálním až alkalickém prostředí (Vaněk et al. 2012).

3.1.2.4 Biologická fixace N₂

Významným přísunem N do půdy je poutání vzdušného dusíku mikroorganismy (Vaněk et al. 2012). Ačkoli se v atmosféře Země vyskytuje obrovská zásoba dusíku, je přítomna jako inertní plyn a nemůže být použita ani vyššími rostlinami ani zvířaty. Kovalentní trojná vazba molekuly N₂ je vysoce stabilní a může být chemicky rozrušena pouze při zvýšených teplotách a tlacích. Mikroorganismy, které fixují dusík, naopak provádějí tento obtížný úkol při běžných teplotách a tlacích (Stevenson & Cole 1999).

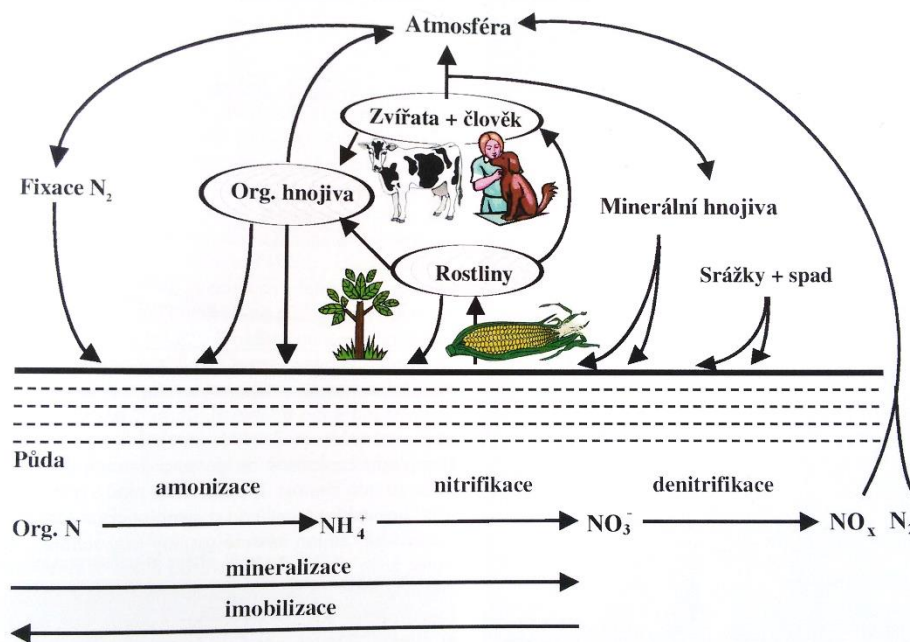
Biologická fixace je nejvýraznějším zdrojem dusíku v biosféře, na kterém se podílejí všechny formace pevniny i oceány, nejvíce plochy bobovitých rostlin a dále lesní a travní porosty. Mikroorganismy, které mají schopnost se podílet na fixaci atmosférického dusíku, lze rozdělit do dvou základních skupin: 1. Volně žijící mikroorganismy a 2. Symbiotické mikroorganismy (Vaněk et al. 2012). Významnější je v našich podmínkách fixace symbiotickými bakteriemi (v symbióze s bobovitými rostlinami), v porovnání s fixací volně žijícími mikroorganismy v půdě (Balík et al. 2012).

Klasickými příklady N₂ fixujících volně žijících bakterií jsou fotosyntetický *Rhodospirillum*, anaerobní heterotrofní *Clostridium* a aerobní heterotrofní *Azotobacter*. Obecně se nacházejí jako vrstva překrývající bahno a pokrytá vrstvou řas. Fixace N₂ je možná, protože pigmenty fotosyntetických bakterií absorbují světlo v oblasti spektra, které není absorbováno pigmenty nadložních řas.

Symbiotické partnerství mezi bakteriemi rodu *Rhizobium* a *Bradyrhizobium* a luštěninami má dlouhou historii v zemědělství a základních vědách. Význam tohoto vztahu je zdůrazněn skutečností, že i při velkém nárůstu používání dusíkatých hnojiv za poslední čtyři desetiletí,

jsou luskoviny hlavním zdrojem fixovaného dusíku pro velkou část půdy na světě (Stevenson & Colde 1999).

Obrázek 1 Schéma koloběhu dusíku v přírodě (Vaněk et al. 2016)



3.1.3 Ztráty dusíku

Ztráty dusíku ze systému půda/rostlina nejen snižují úrodnost půdy a výnos rostlin, ale mohou také vytvářet nepříznivé dopady na životní prostředí (Cameron & Moir 2013).

3.1.3.1 Volatilizace amoniaku

Dle Camerona a Moira (2013) se jedná o ztrátu plynného amoniaku z povrchu půdy. Volatilizace amoniaku je nežádoucí, protože představuje ztrátu dusíku v půdě, rostlinném systému. Většina volatilizovaného amoniaku se vrací na zemský povrch mokrou depozicí (rozpuštěnou v dešťové vodě) nebo suchou depozicí (navázanou na částice), což způsobuje oxyselení a eutrofizaci přírodních ekosystémů.

Volatilizaci amoniaku lze dosáhnout:

- aplikací dusíkatých hnojiv
- aplikací zvířecí moči a stolice
- mineralizací organických látek a zbytků rostlin

Faktory ovlivňující volatilizaci a výši ztrát:

- půdní pH
- teplota
- koncentrace amoniaku
- KVK
- vlhkost půdy, srážky a zavlažování
- použitá hnojiva
- pasoucí se zvířata
- rostliny

3.1.3.2 Vyplavování

Vysoká intenzita nitrifikace může vést ke značným ztrátám dusíku vyplavením, případně i k denitrifikaci. Vzhledem k těmto skutečnostem, je zde snaha omezit a usměrnit nitrifikaci použitím inhibitoru nitrifikace.

Ke ztrátám nitrátového dusíku za současné spotřeby organických látek dochází hlavně činností denitrifikačních bakterií.

Vyplavení dusíku z půdy je závislé na druhu půdy, úrovni srážek, a na způsobu využití půdy. Pokud se nitrátový dusík dostane mimo kořenovou zónu (0,8 - 1 m) je denitrifikace jediným způsobem, jak snížit obsah nitrátů v podpovrchových vodách. Denitrifikací se ztrácí ročně v průměru až 8 % mineralizovatelného půdního dusíku, a až 20 % N z hnojiv.

Vzhledem k tomu, že chemická denitrifikace může vést k vysokým ztrátám, je třeba agrotechnickými a hnojařskými opatřeními omezit co možná nejvíce její intenzitu. Dosáhneme toho tím, že převážnou část dusíku budeme aplikovat ve vegetačním období a zvýšíme možnost biologické fixace dusíku pěstováním meziplodin na zelené hnojení nebo zaoráním slámy (Richter & Hlušek 1999).

3.1.4 Dusík v rostlinách

V rostlinách je více dusíku než kteréhokoliv jiného prvku, s výjimkou uhlíku, vodíku a kyslíku. Dusík hraje důležitou roli v mnoha základních funkcích a sloučeninách nezbytných pro život.

Můžeme jej najít v různých částech rostliny v různých formách. V listech, zrnech, rostlinných tkáních a kořenech rostlin (Buchholz nedatováno). Obsah N v rostlinách se pohybuje v širokém rozmezí v závislosti na druhu rostliny, orgánu a jeho stáří (tabulka 2), (Pavlíková et al. 2007). Dusík může fungovat jako součást struktury rostliny nebo být zapojen do životních procesů (Buchholz nedatováno).

Tabulka 2 Průměrný obsah dusíku ve vybrané plodině [%] v období sklizně (Pavlíková et al. 2007)

Plodina	N v sušině [%]
Pšenice ozimá – zrno	2,30
Pšenice ozimá – sláma	0,55

Dle Tajera (2016) by se tak dusík mohl označit jako „páteř“ rostlin. Ze všech důležitých živin je dusík rostlinami vyžadován ve velkém množství, protože může být omezujícím faktorem v rostlinné produkci a správném vývoji plodin.

Přehled funkcí dusíku v rostlinách:

- dusík je nezbytným prvkem všech aminokyselin v rostlinných strukturách, které jsou stavebními kameny rostlinných proteinů, důležité při růstu a vývoji životně důležitých rostlinných tkání a buněk, jako jsou buněčné membrány a chlorofyl
- složka nukleové kyseliny, která tvoří DNA genetický materiál významný při přenosu určitých vlastností a charakteristik plodin, které pomáhají při přežití rostlin. Napomáhá také udržet genetický kód v jádru rostliny
- je součástí chlorofylu, který je organelou nezbytnou pro tvorbu uhlohydrátů fotosyntézy a látkou, která rostlině dodává její zelenou barvu
- nezbytný v rostlinných procesech, jako je fotosyntéza. Rostliny dobře zásobené dusíkem mají vysokou rychlost fotosyntézy a typicky vykazují intenzivní růst a vývoj

3.1.4.1 Příjem dusíku rostlinami

Rostliny přijímají dusík ve formě iontů, a to jako kationt amonný (NH_4^+), nebo aniont nitrátový, dusičnanový (NO_3^-), a do určité míry i některé organické sloučeniny, např. močovinu nebo aminokyseliny.

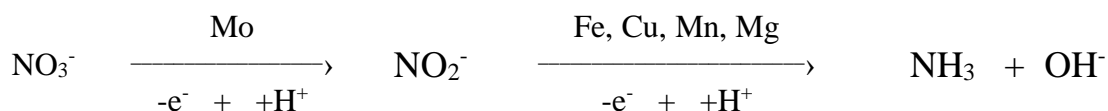
O příjmu obou těchto iontů rozhodují hlavně vnější podmínky, ale i sama rostlina. Výrazným vlivem se projevuje i pH prostředí. V neutrální až alkalické oblasti pH je příjem obou iontů vyrovnán, nebo je vyšší příjem NH_4^+ . Naopak v kyslejší oblasti převažuje příjem NO_3^- (Pavlíková et al. 2008). Také teplota a aerace půdy zasahuje do příjmu těchto iontů. Při nižší teplotě a vyšší aeraci se snižuje příjem i využití NO_3^- .

V biologicky činných půdách, vlivem poměrně rychlé oxidace amonného dusíku na nitrátový, převažuje většinou příjem nitrátového aniontu, který je v půdě pohyblivější, snadněji se hmotovým tokem půdní vody dostává do rhizosféry, kde je k dispozici rostlinám (Pavlíková et al. 2007).

Příjem jednotlivých iontů a jejich využití v rostlině ovlivňuje i příjem ostatních iontů. Při jednostranné výživě NO_3^- je v rostlině zvýšená tvorba organických aniontů, a tím je zvýšen příjem kationtů, hlavně K^+ , Ca^{2+} a Mg^{2+} . Při převažujícím příjmu NH_4^+ je celkově nižší příjem iontů, a to převážně kationtů (Vaněk et al. 2007).

Rostliny přijatý minerální dusík postupně využívají k tvorbě organických dusíkatých sloučenin. Zatím co NH_4^+ mohou rostliny bezprostředně využít k syntéze aminokyselin, nitrátový dusík musí být nejprve redukován na amonný. K redukcí dusičnanů dochází v rostlinných pletivech, hlavně v listech, za pomoci enzymů. V rostlinných pletivech je aktivita enzymu nitrátreduktázy poměrně vysoká, kdy k redukcí je zapotřebí dostatek energie. Významnou roli má i přítomnost některých prvků jako jsou Mo, Fe, Cu, Mn a Mg. Vznikající NH_3 je vázán na organické kyseliny (oxokyseliny) za vzniku aminokyselin (Vaněk et al. 2012).

Možné schématické znázornění redukcí dusičnanů na NH_3 :



3.1.4.2 Projevy nedostatku dusíku u rostlin

Nedostatek dusíku od počátku vegetace má za následek omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, což se projevuje omezením růstu rostlin a tvorby všech podstatných orgánů rostlin (listů, stébel a lodyh). Při nedostatku dusíku jsou rostliny slabší a nižší. Porosty jsou často nevyrovnané, což je zapříčiněno nerovnoměrným rozmetáním dusíkatých hnojiv, případně zaorávce posklizňových zbytků.

V důsledku snížené tvorby chlorofylu se mění zbarvení rostlin, které je světlejší (Vaněk et al. 2012). Dle Vaňka et al. (2016) omezená tvorba listů a také chlorofylu vede ke snížení fotosyntézy, a tím k menší tvorbě produkce biomasy. Pochopitelně snížení tvorby nadzemních orgánů má důsledky i v omezení tvorby kořenů a jejich energetickém zásobování. Druhotně tím dochází ke snížení příjmové kapacity kořenů a obecně se snižuje příjem i dalších živin. Porosty s omezenou výživou N mají proto většinou kratší vegetační dobu, rychleji dozrávají, ale zkrácením vegetace dochází ke snížení výnosu a kvality produkce, především semen.

Nízký příjem dusíku se projevuje rozdílně u jednotlivých druhů rostlin. Významné je i to, ve které vegetační fázi se jednotlivé druhy rostlin nacházejí. Nedostatek N může totiž

významně zasahovat do utváření jednotlivých výnosových prvků, např. u obilnin v době odnožování se sníží počet odnoží, v době diferenciacce vegetačních vrcholů se omezí počet zrn v klasu (klas je kratší), v období sloupkování až metání je zvýšená redukce založených stébel a v pozdější části vegetace je omezená tvorba bílkovin v zrnu – sníží se kvalita zrna a často i hmotnost, takže je výrazně omezen výnos.

3.1.4.3 Projevy nadbytku dusíku u rostlin

Nadbytek dusíku je méně častý a projevuje se většinou latentní formou. Působení nadbytku N je rozdílné podle druhů rostlin a jejich růstové fáze (Pavlíková et al. 2007).

Dle Vaňka et al. (2012) jsou na nadbytek N v raných fázích vegetace, např. již při vzcházení, velmi citlivé některé drobnosemenné zeleniny. Na omezení vzcháživosti a negativní ovlivnění růstu mladých rostlinek působí více amonná forma dusíku než ledková (nitratová), ale projev poškození je u obou forem dusíku stejný. Nadbytek v povrchových horizontech půdy, zvláště na podzim a v předjaří, působí zvýšené větvení kořenů v zónách vyšší koncentrace dusíku a tím omezení růstu hlavních a vedlejších kořenů. Zhoršeným prokořeněním celého půdního profilu, se tak sníží příjmová kapacita kořenů pro živiny a vodu.

V pozdějších fázích růstu působí nadbytek dusíku jeho hromadění v rostlinách v minerální formě (NO_3^-). Nitrátový dusík tvoří přirozenou zásobu pro pozdější intenzivní růst. Pokud jsou však podmínky nepříznivé, omezující růst, může jeho vyšší obsah ovlivnit nutriční hodnotu produktů. Hromadění nitrátů v rostlinách je vyšší za zhoršených světelných podmínek.

Při dobrých růstových podmínkách je N využíván k růstu hlavně vegetativních orgánů, tedy listů, stonků, výhonů a do jisté míry i květních orgánů (Vaněk et al. 2007).

Rostlina je celkově dobře vyvinutá až robustní, později přechází do generativní fáze růstu a prodlužuje se dozrávání. Co se týče obilnin, jsou porosty hustší, sytě zelené s bohatým olistěním. Hustší porosty s vyšším olistěním omezují uvnitř porostu světelné podmínky, a naopak zvyšují vlhkost, a tím vytvářejí vhodnější mikroklima pro napadení rostlin chorobami, zvláště houbovými.

Při nadbytku dusíku rostou rostliny velmi bujně, tvoří se méně cukrů, pletiva nevyzrávají. To má za následek zvýšenou citlivost na nízké teploty. Dalším znakem výrazného nadbytku je poškození okrajů listů – dochází k nekrotám a zasychání okrajů listů, které může vést až k úplnému odumření. Je to důsledek toho, že přijatý dusík je transportován až do okrajů listů, kde se hromadí, a když přesáhne jeho obsah toxickou hladinu, jsou poškozována pletiva. Takto zjevné příznaky poškození rostlin jsou v přirozených a běžných podmínkách ojedinělé a mohou se vyskytnout jen na místech s lokálním přehnojením (Vaněk et al. 2007).

3.2 Pšenice

Pšenice patří k nejstarším kulturním plodinám. Byla domestikována již asi sedm tisíc let před Kristem. Od té doby byly vyselektovány různé druhy pšenice, odpovídající lidským požadavkům (Chloupek 2008). Dnes je pšenice využívána k několika účelům, jako je krmivářství, kde je komponentem krmných směsí hospodářských zvířat, pro potravinářské využití a průmyslové využití, kde se z pšenice získává líh a škrob. Tato plodina je také často využívána v energetice pro spalování.

Z celosvětového hlediska je pšenice společně s rýží a kukuřicí dominantní pěstovanou plodinou. Největšími producenty zrna je Asie (přes 40 % produkce), především Čína a Indie, Evropa (cca 32 %) a Amerika (okolo 17 %) (FAO 2019). Ročně se na světě sklídí asi 600 milionů tun pšenice z 220 milionů hektarů (Wrigley & Bekes 2004).

V České republice je pšenice nejpěstovanější obilninou na orné půdě. Z celkové osevní plochy zemědělského půdního fondu zaujímá cca 30 % a v porovnání s ostatními obilninami je pěstována až na 60 % osevních ploch. Její výměra se v posledních deseti letech pohybuje neustále nad 800 tis. ha, ale trend vývoje osevních ploch je záporný. Mírně klesající je také trend ve vývoji průměrných hektarových výnosů, kde hodnoty oscilují okolo 6 t/ha (Kůst & Záruba 2018).

Pšenice je v České republice pěstována především v ozimé formě. Tedy porosty jsou zakládány na podzim a rostliny musí projít procesem jarovizace, kdy na vzrůstný vrchol musí po určitou dobu působit nízké teploty (okolo 0,0 °C) a dochází tak k fyziologickým změnám, kdy konečným důsledkem je přechod z vegetativního stavu rostliny do generativního. Rozdíly však nejsou pouze v době setí a délce vegetace na poli, ale také v době sklizně a výši výnosu, kdy dle Kůsta a Záruby (2018) se průměrný hektarový výnos jarní pšenice pohyboval okolo 4 t/ha. V minulosti se pěstovaly i tzv. přesívkové pšenice, které mohly být sety jak na podzim, tak i na jaře.

3.2.1 Tvorba výnosu

Při pěstování tržních plodin je požadována produkce vysokého výnosu. Zabezpečení těchto požadavků je možné pouze za předpokladu shody správného fyziologického vývoje celé rostliny, dostatku potřebných živin, optimálního průběhu počasí a dalších faktorů působících na rostlinu. Důležitý je optimální vývoj kořenového systému z hlediska schopnosti výživy odnoží a jejich generativních částí.

Základní výnosotvorné prvky:

- počet klasů na m²
- počet zrn v klasu
- hmotnost 1 000 zrn (HTZ)

(Pazderů 2018)

V případě pšenice se jednotlivé odrůdy mohou lišit významem jednotlivých výnosotvorných prvků při tvorbě výnosu. V pěstitelské praxi jsou pak rozlišovány 4 základní typy odrůd, které tvoří výnos:

- produktivitou klasu – kde je vytvářeno méně odnoží (cca 450 – 550 klasů/m²), ale mají produktivnější klasy buď z hlediska vyššího počtu zrn v klasu nebo vyšší HTZ
- počtem klasů na m² – odrůdy mají v klasu střední nebo nižší množství zrn, ale vyznačují se vyšší odnožovací schopností (cca 650 – 700 klasů/m²)
- počtem zrn na m² – kdy v dostatečném množství klasů na plochu (cca 550 – 650) se střední nebo vyšším počtem zrn v klasu, ale nízkou HTZ
- kompenzační typ – kde na tvorbě výnosu se víceméně rovnoměrně podílejí všechny výnosotvorné prvky, tedy nižší hodnota jednoho prvku může být kompenzována zvýšením hodnoty ostatních prvků v časové posloupnosti

(Křen 2019)

V závislosti na způsobu tvorby výnosu vyžadují odrůdy optimální podmínky, především v době tvorby pro ně stěžejních výnosových prvků. Znalost rozdílů v utváření výnosu

usnadňuje volbu základní strategie pěstební technologie a rozhodování o pěstebních opatřeních pro jednotlivé odrůdy, jako je stanovení termínu setí nebo výsevku (Křen 2018).

Tvorbu výnosu a kvalitu zrna lze do určité míry ovlivnit správně zvolenou pěstební technologií tvořenou různými agrotechnickými zásahy, jako je volba předplodiny a kvalita zpracování půdy, a dalšími vstupy – hnojení, ošetření fungicidy, použití regulátoru růstu a podobně. Tyto vstupy a zásahy je zapotřebí optimalizovat ve vztahu k počasí. Tímto přístupem lze do jisté míry eliminovat míru negativních projevů sucha a s efektivním vynaložením vstupů docílit přijatelné rentability pěstování ozimé pšenice (Smutný et al. 2018).

3.2.2 Technologie pěstování

3.2.2.1 Požadavky na prostředí

Pšenice ozimá se pěstuje ve všech výrobních oblastech ČR (Šnobl et al. 2007). Z toho vyplývá, že v osevních postupech následuje po různých, více či méně vyhovujících předplodinách, což ve značné míře ovlivňuje dosahované výsledky (Kováč, Kubinec et al. 1998). V oblasti klimatických vlivů při pěstování pšenice se projevuje vliv mrazů, vysokých teplot, sucha a intenzivního ultrafialového záření. Lokálně a nepravidelně se také projevuje výskyt poškození kroupami a vysokými srážkami s větrem (především v podobě poléhání porostů a porůstání zrna (Bittner 2009).

Nejvhodnější oblasti pro pěstování pšenice jsou dle Šnobla et al. (2007) kukuřičná a řepaská výrobní oblast, tedy oblasti teplejší s úrodnými půdami.

Při pěstování pšenice v sušších oblastech může hrozit nedostatečný úhrn srážek, kdy dochází k nouzovému dozrávání a zasychání rostlin. V ranějších fázích vývoje tak může docházet ke zchazování odnoží a v pozdějších fázích růstu k zasychání klasů. V obou případech dochází k nezanedbatelným ztrátám jak na výnosu, tak na kvalitě zrna. Ztráty se také projevují v opačném případě, kdy je srážek nadměrné množství a dochází k poléhání porostu. V takových případech může hrozit i porůstání zrn v klase před sklizní, kdy jsou zrna znehodnocena (Bittner 2009).

Pšenice ozimá je jednou z nejnáročnějších obilnin na půdní podmínky a obsah živin. Pro pěstování pšenice jsou optimální střední až těžší půdy (písčitohlinité, hlinité a jílovitohlinité) s neutrální až slabě kyselou půdní reakcí (pH 6,2 až 7,0). Pšenice využívá živiny z půdní zásoby, tedy je nutné pravidelně hnojit (Faměra 1993). Nevhodné jsou pak půdy lehké, vysychavé, kyselé a zamokřené (Šnobl et al. 2007).

Kvalita potravinářské pšenice závisí mj. na obsahu N-látek a lepku. Obecně platí, že vyšší jakost zrna je dosahována v teplejších a sušších oblastech a podmínkách, kde je větší intenzita slunečního záření (Šnobl et al. 2007).

3.2.2.2 Jakost zrna

Ač je technologická kvalita zrna pšenice předem determinována genetickým základem rostliny, tak v přírodních podmínkách České republiky je značně ovlivňována počasím a agrotechnikou. Při využití zrna pro potravinářské účely se sleduje nejen vlhkost, která by měla být do 14,0 %, objemová hmotnost (78 kg/hl), příměsi a nečistoty, sedimentační hodnota, číslo

poklesu (zkouška vnitřní porostlosti zrna) a také obsah N-látek, který by měl být minimálně 12 % (Hubík & Mareček 2002).

3.2.2.3 Zařazení v osevní postupu

Ozimá pšenice je náročnou plodinou, tedy v osevních postupech se zařazuje po dobrých předplodinách. Výnosový potenciál je využit především po zlepšujících předplodinách, kterými jsou jeteloviny, luskoviny, olejninu a včas sklizené okopaniny (Faměra 1993), dle Šnobla et al. (2007) především okopaniny hnojené organickými hnojivy. Pokud je pšenice seta po pozdě sklizených předplodinách, není využívána předplodinová hodnota těchto plodin. S opožděním výsevu klesá i výnosnost pšenice. Pokud je pšenice zařazena v osevním postupu po obilnině, je zvýšeno riziko výskytu chorob a škůdců pšenice a také se snižuje výnos (Faměra 1993) a potravinářská jakost (Šnobl et al. 2007).

3.2.2.4 Osiva a odrůdy

Pro založení porostu je nutné používat pouze osivo splňující předepsané normy. Osivo splňující kvalitativní parametry je základem pro vytvoření dobrého porostu (Faměra 1993).

V České republice jsou pro každý rok vytvářeny Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ) seznamy doporučených odrůd pěstovaných plodin. Jednotlivé odrůdy jsou doporučovány na základě několikaletých pokusů prováděných na odborných pracovištích ÚKZÚZ, které jsou rozmístěny v rámci jednotlivých výrobních oblastí od Kukuřičné (KVO) po Bramborářskou (BVO). V každoročně sestavovaných seznamech jsou odrůdy rozděleny na doporučené, které splňují kritéria a jsou zkoušeny nejméně 4 roky, předběžně doporučené, které jsou zkoušeny nejméně 3 roky, a ostatní odrůdy, které nespĺňují některé z kritérií. Hodnocenými kritérii jsou výnosnost odrůdy, odolnost proti chorobám, zimuvzdornost, jakost a další (Horáková & Dvořáčková 2019).

Jednotlivé odrůdy jsou také zařazovány do skupin dle pekařské jakosti. Skupiny jsou, a to E – elitní, A – kvalitní, B – chlebová a C – nevhodná pro pekařské účely (Šnobl et al. 2007). Systém hodnocení pekařské kvality zahrnuje přímá i nepřímá hodnocení, která jsou dle významu rozdělena na hlavní a doplňková. Podkladem pro zařazení odrůdy do příslušné skupiny jakosti je stanovení minimálních požadavků pro jednotlivé kategorie u hlavních parametrů jakosti (Horáková & Dvořáčková 2019).

3.2.2.5 Založení porostu

Termín setí je dán biologickými vlastnostmi druhů a odrůd ozimých obilnin a také termínem sklizně předplodiny. U ozimé pšenice je obecně uváděn termín setí zhruba od poloviny září do poloviny října, přičemž je nutné termín setí upravit dle lokality. Ve vyšších nadmořských výškách se tak optimální termín setí posouvá již cca od 5. září (BVO) (Šnobl et al. 2007). Tedy termín setí je specifický lokálně a závisí také na intenzitě pěstování. Termín a výsevek by měl být volený podle strategie pěstební technologie, ve své podstatě se jedná v jaké fázi růstu a vývoje má být porost před nástupem zimy (Křen et al. 2018).

Výsevek závisí na odnožovací schopnosti, výrobní oblasti, kvalitě předseťové přípravy půdy a na termínu setí (Šnobl et al. 2007). U pšenice se doporučuje výsevek 3,5 – 4,8 mil.

klíčících zrn na ha (pro většinu sortimentu) (Urban & Vašák 2016). U málo odnožujících odrůd se doporučuje výsevek 4 – 5 mil. klíčících zrn na ha, u středně odnožujících 3,5 – 4,8 mil. klíčících zrn na ha a u silně odnožujících 3 – 4,5 mil. klíčících zrn na ha (Šnobl et al. 2007).

Samotné setí by mělo být prováděno do strukturní, vlhké a měkké půdy. Hloubka setí by měla být optimálně 2 – 3 cm ve strukturní půdě a maximálně 4 cm v hrudovité půdě, přičemž půdní podmínky by měly umožňovat dobrý kontakt osiva s půdou (Křen et al. 2018).

Vzcházení rostlin je ovlivňováno jak přítomností, tak i umístěním rostlinných zbytků v půdním profilu. Přítomnost organických zbytků v půdě také snižuje pravděpodobnost tvorby škraloupu, který se tvoří především při mechanickém působení vodních kapek (Křen et al. 2018).

3.2.3 Výživa

Pšenice patří mezi plodiny se střední potřebou živin (Hřivna 2012). Příjem živin i jejich konečný odběr sklizní je značně závislý na půdních a povětrnostních podmínkách, intenzitě růstu, dosaženém výnosu i pěstované odrůdě. Hlavní příjem živin u ozimé pšenice je v období intenzivního růstu a většinou vrcholí v době květu, rostliny tak přijmou většinu živin v krátkém období. Rozhodujícími předpoklady kvalitní sklizně jsou půdní úrodnost, vhodná předplodina a správná výživa rostlin (Vaněk et al. 2007).

3.2.3.1 Nároky na jednotlivé živiny

3.2.3.1.1 Dusík

Výživa dusíkem je nejvýznamnější opatření, ovlivňující utváření výnosotvorných prvků i vlastní výnos a kvalitu zrna. Snahou musí být zajistit rostlinám dostatek dusíku v půdě v období jeho potřeby, a proto vlastní hnojení musí vycházet z biologických zvláštností odrůd, půdní úrodnosti, průběhu povětrnosti a stavu porostu (Vaněk et al. 2007). Dle Zimolky et al. (2005) je využití dusíku na tvorbu zrna často v našich podmínkách negativně ovlivňováno nízkým obsahem fosforu, draslíku, hořčíku a síry.

Ozimá pšenice na 1 tunu zrna a odpovídající množství slámy a kořenů odčerpá v průměru 25 kg N. Pro optimální růst a vývoj má v podzimním období významnou úlohu obsah živin v půdě. Nedostatek živin se zvláště výrazně projevuje omezením metabolických pochodů, jejichž výsledkem jsou slabé a špatně odnožené rostliny, které při silnějších zimách často vymrzají (Hřivna 2012).

3.2.3.1.2 Fosfor

Celkové množství fosforu v půdě kolísá od 0,01 do 0,15 %. Převážná část celkového P v půdách je pro rostliny nepřijatelná. Základem různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny H_3PO_4 a v menší míře vazby $H_4P_2O_7$. Sloučeniny fosforu sloužící jako potencionální zdroj pro výživu rostlin a půdních mikroorganismů jsou představovány minerálními i organickými sloučeninami (Vaněk et al. 2007).

Odběr fosforu si zachovává stejnou dynamiku s mírným nárůstem v období tvorby zrna (Zimolka et al. 2005). Rostliny jej přijímají ve formě aniontů $H_2PO_4^-$ a HPO_4^{2-} a to při tzv. aktivním procesu, jenž vyžaduje dostatek energie. Při nízkých teplotách mohou mít rostliny k dispozici málo energie pro příjem. Důležitým předpokladem pro příjem fosforu je tak vytvoření bohaté kořenové soustavy. Příznivě na příjem fosforu působí dostatečná vlhkost

půdy, vhodná hodnota pH (5,5 – 7), dostatek organických látek s dobrou biologickou činností a samozřejmě přiměřený obsah přijatelného P v půdě.

Fosfor v rostlinách má významné postavení v biochemických reakcích a v přenosu energie. Při omezeném příjmu fosforu, jsou tak narušeny významné procesy v rostlinách, hlavně související s fotosyntézou s důsledky snížení výnosů plodin a obsahu hlavních složek v produktech (Vaněk et al. 2007).

Hnojení fosforem tak významně ovlivňuje výnos pšenice (Zhou et al. 2017). Kdy z pokusu Klase a Klasové (2017) vyplývá, že pro dosahování vyšších výnosů u této plodiny (více než 7 – 10 t/ha) je jednoznačným a hlavním limitem také zejména absolutní výše dávky hnojení. Je tedy nutné pro případ růstové, intenzivní strategie doporučit zvýšení dávek hnojení P₂O₅ až na úroveň 70 – 80 kg/ha.

Nedostatek fosforu se projevuje zprvu nenápadně. U rostlin je omezen růst kořenů a dochází k méně intenzivnímu odnožování. Stébla u paty mají při nedostatku červenofialové zbarvení (Zimolka et al. 2005).

Nadbytek fosforu v rostlinách se u nás téměř nevyskytuje. Je to dáno tím, že fosfor je velmi dobře sorbován půdou a jeho obsah zatím zdaleka nedosahuje kritických hodnot (Vaněk et al. 2007).

3.2.3.1.3 Draslík

Celkový obsah u většiny půd činí 0,5 – 3,2 %. V půdě jej lze rozdělit do kategorií:

- nevýměnný
- výměnný
- vodorozpustný

Nevýměnný draslík se nachází v primárních a sekundárních minerálech. Mezi nevýměnné formy je zařazován také K, který se nachází v mezivrstvách jílových minerálů tzv. fixovaný draslík, který však může po určité době přejít do výměnné formy. Fixace draslíku je vyšší za sucha, naopak ve vlhkém období dochází k uvolnění mříže, a tak může část fixovaného K přejít do výměnné formy. Proto je většinou v jarním období větší množství přijatelného draslíku a zvýšený příjem K rostlinami, zvláště travami.

Výměnný je představován kationtem K⁺, který je vázán na půdní sorpční komplex a může být vyměněn jiným kationtem. Výměnný draslík je hlavní formou přijatelnou pro rostliny.

Vodorozpustný draslík se nachází v půdním roztoku a představuje okamžitě přijatelný draslík pro rostliny (Vaněk et al. 2016).

Rostlina přijímá draslík jako kationt K⁺, a to jak aktivně tak pasivně. Jeho příjem je výrazně ovlivňován vlhkostí, teplotou a intenzitou slunečního záření. Celková potřeba prvku je u jednotlivých druhů rostlin rozdílná, pokud se zaměříme na obilniny, jedná se asi o 100 kg K/ha.

Náročnost na výživu draslíkem během vegetace narůstá s tvorbou biomasy a většinou vrcholí před květem. Obilniny ve druhé polovině vegetace značně omezují příjem, a dokonce část přijatého draslíku postupně vydávají kořeny zpět do půdy.

Draslík plní v rostlině řadu důležitých funkcí. Díky své dobré pohyblivosti v rostlině umožňuje transport i ostatních látek především do kořenů. Výrazným způsobem ovlivňuje osmotický tlak, a tím i turgor buněk, což souvisí i s hospodařením s vodou. Významná je přítomnost draslíku v dlouhivém růstu rostlin. Při dostatku v rostlinách dochází k lepšímu vyžívání pletiv a zlepšuje se anatomická stavba (Vaněk et al. 2012).

Při nedostatku prvku je stéblo zkrácené a rostlina vytváří velké množství odnoží. Dalšími projevy nedostatku jsou zvýšená náchylnost k poléhání a špatné přezimování v důsledku poškození mrazem. Naopak přehnojení vede k jeho luxusnímu příjmu rostlinou, která tak současně zpomaluje příjem Mg, Ca, Mn (Zimolka et al. 2005).

Z uvedeného výčtu je zřejmý výrazný vliv draslíku na základní funkce rostlin, které se promítají v jejich výkonu, a tím i výnosu, ale také v kvalitě produkce, technologických, senzorických parametrech (Vaněk et al. 2012).

Vliv půdního obsahu draslíku na výnos ozimé pšenice je největší. Hnojení draslíkem je tak zatím největší intenzifikační faktor z výživářských opatření pěstování pšenice ozimé po odstranění limitů na straně Ca, Mg (Klas & Klasová 2017).

3.2.3.1.4 Síra

Síra je důležitým makroprvkem ve výživě rostlin. Je součástí aminokyselin a to např. cysteinu a methioninu, dále se objevuje v rostlinných olejích (hořčice, česnek) a ve vitamínech (thiamin). U čeledi *Poaceae* je optimální koncentrace síry v sušině rostlin při 0,18 – 0,19 % (Kulhánek et al. 2009). Plodiny z této čeledi, do které patří i rozšířená obilnina pšenice, jsou považovány pro odběr 2,5-4,3 kg S/t produkce za plodiny s nízkými nároky na síru (Aulakh 2003). Vyskytující se nízké obsahy vodorozpustné síry (S_{H_2O}) v půdách (do 7,5 mg/kg) neuhrazují současnou potřebu síry pro zvyšující se výnosy obilnin (Pias et al. 2019).

V důsledku nízkého obsahu síry v půdě je pozorována velmi dobrá reakce ozimé pšenice na přihnojení touto živinou. Projevuje se zvýšením výnosu až do výše 45 % (Javor et al. 2018). Termín aplikace síry ovlivňuje tvorbu výnosu podobně jako hnojení dusíkem. Časné hnojení sírou v odnožování ovlivňuje odnožování a počet klasů a pozdější aplikace v metání velikost zrn (Javor et al. 2019)

Mimo jiné podporuje síra i příjem a využití dusíku a tím přispívá k jeho efektivnějšímu využití. Příznivý vliv hnojení dusíkem společně se sírou na výnos a kvalitu zrna u pšenice byl prokázán (Zimolka et al. 2005).

3.2.3.1.5 Hořčík

Hořčík ve výživě ozimé pšenice hraje velice významnou roli, a to jak ve vztahu k fyziologickým procesům rostlin, fotosyntéze, tak i z důvodu kvality produkce. Je důležitý během celého období růstu rostlin, kdy jeho celkový odběr je 10 – 15 kg/ha (Černý et al. 2014).

Dle Klase a Klasové (2017) nemá hořčík na rozdíl od vápníku žádný limit své funkce. S jeho obsahem tedy progresivně roste i výnos ozimé pšenice, a to s malými ročníkovými výkyvy. Dle Richtera a Hlušky (1999) podmiňuje hořčík lepší účast fosforu na asimilačních a disimilačních procesech. U obilnin dobře zásobených hořčíkem byl tak prokázán i lepší příjem fosforu z půdy.

Dalším obecně známým významem, je vliv na fotosyntézu, kdy nejen, že je hořčík přímou součástí chlorofylu, podílí se na zabudování oxidu uhličitého do organických sloučenin, aktivuje mnohé enzymové systémy, ale působí i na využití dusíku rostlinami.

Nedostatek tohoto prvku se u rostlin projevuje:

- zpomalením tvorby kořenů již v počátečních fázích vývoje rostlin
 - inhibicí transportu látek (především sacharózy) floémem, z listů ke kořenům
 - snížením kvality zrna, zvláště obsahu bílkovin
- (Černý et al. 2014)

3.2.3.1.6 Vápník

Obsah vápníku a požadavek rostlin na něj je často dáván do souvislosti s nároky rostlin na pH prostředí, což není zcela jednoznačné. Obiloviny například potřebují málo vápníku, ale v nárocích na půdní reakci se odlišují, kdy ječmen a pšenice nesnášejí nízké hodnoty pH, na druhé straně žito a oves jej vyžadují (Vaněk et al. 2016).

Vápník přijímá rostlina během celého svého vývoje, kdy jeho obsah v sušině rostlin se pohybuje v rozmezí 0,4 – 1,5 % v závislosti na druhu rostliny, orgánu a jeho stáří (Richter & Hlušek 1999). Obilniny jej odčerpávají kolem 20 kg z hektaru ročně. Díky velmi nízkému

transportu ve floému je málo obsažen v zásobních orgánech (Vaněk et al. 2016), na druhé straně, se nejvíce nachází v orgánech vegetativních (Richter & Hlušek 1999).

Vápník má mnohostranný význam v procesu metabolismu rostlin. Nedostatek se projevuje především na kořenech, kdy se netvoří kořenové vlásky a kořeny začínají zahnívat. Právě kořeny trpí nedostatkem tohoto prvku dříve než jakékoliv nadzemní orgány. Dalším problémem může být i sterilita pylu a u obilovin prázdné plevy. Co se týče semen, jsou malá a zasychají.

Nadbytek vápníku v půdě v podstatě rostlinám neškodí s výjimkou rostlin kalkofóbních. Pokud dojde k přehnojení tímto prvkem, je ovlivněn příjem jiných iontů (Fe, Mn, Zn) a narušuje se rovnováha živin (Richter & Hlušek 1999).

3.2.3.1.7 Mikroprvky

Mikroprvky jsou skupinou rostlinných živin s obsahem nižším než 0,05 %, jež jsou dnes často uváděné v jednotkách ppm.

Nezbytnost prvků vyskytujících se v rostlinných pletivech v menším množství byla zjišťována postupně. Významným mezníkem v tomto upřesňování byla rozsáhlá pokusná činnost, ta byla vyvolána minerální teorií výživy rostlin, formulované Liebigem v roce 1840.

Celkový odběr mikroelementů rostlinami je uváděn v g/ha.

Obecná charakteristika mikroelementů:

- rostliny je potřebují v malém množství – obsah v rostlinách je od několika desetin do 100 ppm.
- jejich největší uplatnění je v biokatalýze, a to jako součást prostetických skupin nebo aktivace či inhibice enzymů.
- optimální působení většiny mikroelementů je v malém rozsahu koncentrací. Z těchto důvodů je žádoucí, aby byl v půdě udržován a vytvářen přiměřený obsah přijatelných forem mikroelementů, a to ve vyhovujících poměrech k ostatním živinám.
- příjem velké části mikroelementů je výrazně ovlivňován druhem pěstované rostliny a vnějšími podmínkami.

V některých oblastech, zvláště u náročných plodin, se projevují příznaky nedostatku mikroprvků, což způsobuje ovlivnění produkce (Vaněk et al. 2018).

3.2.3.1.7.1 Bór

Úloha bóru v rostlině není zatím zcela jasná, projevy jeho nedostatku jsou však značně komplexní. Obsah v rostlinách není příliš vysoký 20 – 50 mg/kg.

Předpokladem jeho úlohy v rostlině je primárně v jeho strukturní funkci v buněčné stěně, kde se také většina bóru obsaženého v rostlině nachází. Další nezbytnost tohoto prvku pro rostlinu je při klíčení pylu a růstu pylové láčky.

Souhrnné vyjádření významu bóru pro metabolismus rostlin:

- význam pro růst pylové láčky
- vliv na metabolismus sacharidů
- vliv na metabolismus fenolických látek
- syntéza buněčné stěny
- elongace kořenů

Z hlediska obsahu bóru je také velmi důležité vývojové stádium, ve kterém se rostlina nachází. Ze starých listů může docházet k vyplavování značného množství tohoto prvku, např. u obilnin potom činí obsahy cca 1 mg B/kg sušiny.

Odběr bóru nadzemní biomasou pšenice činí při vysokých výnosech okolo 50 g B/ha. S nedostatkem se nejčastěji setkáváme v suchých a teplých letech na písčitých půdách (Balík

et al. 2018). Je při něm zasažen meristém, odumírá růstový vrchol a dochází k intenzivnímu růstu odnoží, které však brzy odumírají. Na horních listech je patrná chloróza, klas je zakrslý, vyskytují se problémy v kvetení a sterilita pylu.

U obilnin může být patrná i toxicita bóru. Příznaky jsou patrné na starších listech, které jsou zlatožlutě zbarveny, později s hromaděním bóru list od okrajů odumírá (Zimolka et al. 2005).

3.2.3.1.7.2 Měď

Měď je jednou z důležitých mikroživin, jejíž nedostatek omezuje růst kořenů a způsobuje chlorózu listů (Kobza et al. 2018). Snížený příjem mědi ovlivňuje nepříznivě především obilniny a ovocé stromy. Tvorba generativních orgánů je omezena, u obilnin můžeme pozorovat nižší výnos zrna a rozšiřování poměru mezi hmotností slámy a zrna. Co se výnosů týče, byla pozorována určitá stagnace a v případě vyšších dávek dusíku i malá výnosová odezva. Zjevné příznaky pozorujeme již po odnožení.

Při mírnějším nedostatku je část kvítků neplodná, především vrcholové partie jsou hluché. Naopak při silném klasy nemetají, popřípadě jsou velmi slabé a hluché (Vaněk et al. 2016).

Všeobecně je možné konstatovat, že obsah mědi v přirozených půdách je odrazem dvou hlavních faktorů, a to půdotvorných substrátů a půdotvorných procesů (Kobza et al. 2018). K projevům nedostatku mědi dochází zpravidla v půdách bohatých na organickou hmotu, zejména na zamokřených rašelinných půdách. Vyskytnout se však může i na kyselých písčitých půdách v případě, že nemají dostatečnou zásobu Cu-minerálů.

K výraznému zvýšení obsahu mědi v půdě může však dojít, i při aplikaci vysokých dávek čistírenských kalů (Kulhánek et al. 2018).

Celkově odebírají hospodářské plodiny zpravidla méně než 100 g Cu/ha za rok. Podobně jako mangan přispívá k syntéze chlorofylu a je podstatnou součástí koenzymů aktivujících některé rostlinné enzymy (Kulhánek et al. 2018) V rostlině se nachází více jak 100 bílkovin obsahujících měď a 50 % celkové mědi je obsaženo v chloroplastech, kde se podílí na fotosyntetických reakcích (Hänsch & Mendel 2009). Jedná se rovněž o důležitý prvek při syntéze sacharidů a lipidů a také významně ovlivňuje metabolismus dusíku. V neposlední řadě přispívá i k lignifikaci rostlinných pletiv. V našich podmínkách zpravidla hnojení mědí není třeba (Kulhánek et al. 2018).

3.2.3.1.7.3 Mangan

Většina rostlin má v nadzemní hmotě 40 – 200 mg/kg Mn, obsah v jejich pletivech však může být i vyšší. Z fyziologického hlediska se mangan podílí na tvorbě chlorofylu a jako kofaktor na aktivaci řady enzymů, kdy je jen zřídka jejich součástí. Předpokládá se rovněž i jeho vliv na aktivitu nitrátoreduktázy, neboť v listech s nedostatkem manganu dochází k hromaděním nitrátových aniontů. Toto hromaděním však může mít spojitost i s omezením růstu rostlin a tím i menší spotřebě dusíku. Důležitou roli hraje rovněž při fotosyntéze a s ní spojeným uvolňováním kyseliny, v řadě dílčích reakcí vedoucích k syntéze ligninu a podporuje i dělení buněk a růst kořenů (Kulhánek et al. 2018).

Tím, že mangan v rostlinách zvyšuje intenzitu dýchání a látkové přeměny, stimuluje tak rozvoj vegetativních orgánů (Kobza et al. 2018).

Mangan je stejně, jako železo v rostlinách relativně málo pohyblivý. Proto jeho deficit můžeme pozorovat nejčastěji na mladých listech, kdy symptomy jsou podobné nedostatku železa (Kulhánek et al. 2018). Redukuje se turgor a listy u rostlin se stáčíjí do středu. Při dozrávání je omezena tvorba bílkovin. Na druhé straně jeho nadbytek vyvolává těžké chlorózy, na rubu listů se tvoří hnědé až červenohnědé tečky, které mohou splýnout ve větší skvrny (Zimolka et al. 2005).

Jednou z účinných cest, jak odstranit nedostatek manganu je pravidelné hnojení hnojem. Organicky vázaný mangan totiž zůstane v alkalických půdách přístupný mnohem déle než aplikovaný např. v síranu manganatém (Kulhánek et al. 2018).

3.2.3.2 Systém hnojení pšenice

Ozimá pšenice je plodinou, poměrně náročnou na jednotlivé živiny. S ohledem na její pěstování a ve vztahu k půdní úrodnosti je důležité zabezpečit její výživu na potřebné úrovni. Systém hnojení musíme přizpůsobit jednak požadavkům samotné pšenice, ale i podmínkám daného stanoviště (Černý et al. 2014).

Pro dostatečnou kvalitu a množství zrna je rozhodující zabezpečit optimální množství veškerých biogenních prvků. Zvláštní význam má v systému veškerých polních plodin především dusík. Společně s agroekologickými podmínkami prostředí je právě dusík limitujícím prvkem úrody, ovšem za předpokladu, že i ostatní živiny jsou v optimu (Ducsay & Provazník 2018).

Normativ odběru živin z půdy činí dle Vaňka et al. (2016) při výnosu okolo 6 t zrna a přibližně stejném výnosu slámy okolo 144 kg N, 30 kg P, 108 kg K, 24 kg Ca a 12 kg Mg. Černý et al. (2014) uvádí, že hnojení ozimé pšenice není jen o stanovení dávky živin a volby hnojiv k jejich aplikaci, ale úzce souvisí i se zpracováním půdy, a to z hlediska vhodného zapravení hnojiv a jejich následnému rozmístění v půdním profilu.

3.2.3.2.1 Hnojení dusíkem

Hnojením dusíkem ovlivníme nejvíce výnos a mnohé kvalitativní parametry zrna. Zvláště proto jsou na hnojení dusíkem kladeny vysoké nároky. Již na počátku vegetace ovlivňuje přítomný nedostatek či nadbytek prvku další vývoj rostlin.

V podzimním a zimním období porosty přijímají jen malé množství dusíku (Černý et al. 2014). Nejvhodnější z hlediska aplikace je období nejintenzivnějšího růstu, tedy ve fázi odnožování a sloupkování. V tuto dobu se z celkového přijatého dusíku využívá až 70 % (Ducsay & Provazník 2018). Z hlediska časové aplikace N hnojiv lze hnojení rozdělit na základní hnojení a přihnojení během vegetace (Vaněk et al. 2007).

3.2.3.2.1.1 Základní hnojení

Pšenice ozimá odebere v podzimním období cca 20 kg N/ha. Hnojení dusíkem se za optimálních podmínek pravidelně neprovádí, protože jeho využitelnost v podzimním období je poměrně nízká a pohybuje se v rozmezí 30 – 50 %. Aplikaci dusíku také vynecháváme, pokud je pšenice v osevním postupu zařazena po předplodině hnojené statkovými hnojivy nebo po jetelovinách a luskovinách (Škarpa et al. 2016).

Pouze na pozemcích méně úrodných, po špatné předplodině a při zaorávce většího množství posklizňových zbytků, je možné aplikovat část dusíku. Toto hnojení není doporučeno na propustnějších půdách a ve vyšších polohách (Vaněk et al. 2007).

3.2.3.2.1.2 Přihnojení během vegetace

V jarním období je hnojení cíleno do rozhodujících vegetačních fází, tím se zvyšuje jeho efektivita a snižují se tak jeho možné ztráty. Dělení dávek v průběhu vegetace je závislé na genetických dispozicích jednotlivých odrůd (např. u odrůd tvořících výnos produktivností klasu je posilováno produkcí hnojení) (Ryant et al. 2017). Dle Vaňka et al. (2007) je vhodné dělit dávku N v období jara na regenerační, produkční a kvalitativní.

Co se týče vlivu dusíkaté výživy na tvorbu výnosu zrna, za nejdůležitější se považuje regenerační a produkční přihnojení. Kvalitativním přihnojením porostů dusíkem, v růstové fázi po odkvětu, naopak zvyšujeme vyrovnanost zrna, obsah dusíkatých látek a mokrého lepku (Ducsay & Provazník 2018).

3.2.3.2.2 Hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem

Hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem by mělo být provedeno již při předseťové přípravě (Ducsay & Provazník 2018). Kdy hnojení vychází z jejich přístupných obsahů v půdách. Zde musí být zásadou udržení či vytvoření takového stavu, aby výnos zrna byl zajišťován hlavně živinami z půdy a hnojením byly odebrané živiny do půdy pouze doplňovány (Vaněk et al. 2016).

Škarpa et al. (2016) uvádí, že jarní aplikace těchto prvků je komplikovaná a neefektivní. Jejich podzimní zapravení s rovnoměrným rozmístěním v půdním profilu tak přispívá k tvorbě hlubší a rozvětvenější kořenové soustavy. Na základě čehož lze předpokládat dobrou osvojovací schopnost pro živiny a připravenost rostlin k intenzivnímu příjmu živin v jarním období.

Aplikace hnojiv je prováděna zpravidla současně, a to prostřednictvím směsí jednosložkových či uplatněním kombinovaných hnojiv. Při základním hnojení uplatňujeme tuhá hnojiva. Při volbě fosforečných hnojiv upřednostňujeme ta hnojiva, která obsahují fosfor ve formě vodorozpustné (Škarpa et al. 2016). Potřebu tohoto prvku u ozimé pšenice nelze řešit pomocí mimokořenové výživy. A to jak z důvodu pomalého vstupu fosforečných aniontů do vnitřního prostředí rostlin, tak především s ohledem na potřebu fosforu (20 - 30 kg P/ha).

Odběr Draslíku porostem je oproti fosforu výrazně vyšší. Jeho biologická potřeba činí více než 100 kg K/ha, ovšem u dobře zapojených porostů může tato potřeba činit až 150 kg K/ha. Z tohoto důvodu tedy není vhodné hnojení tímto prvkem podceňovat. Při hnojení draslíkem musíme v první řadě uvažovat značnou biologickou potřebu pšenice, následně půdní vlastnosti a v neposlední řadě i jiná hnojařská opatření. Posouzení typu aplikovaného hnojiva je též velmi důležité, neboť z tekutých hnojiv je draslík velice dobře dostupný pro rostliny (Černý et al. 2014).

Celkový odběr hořčíku činí 10 - 15 kg/ha, ovšem ani hnojení tímto prvkem nelze vynechat, neboť je důležitý během celého období růstu rostlin (Černý et al. 2014). Aplikaci hnojiv je možné provést buď samostatně, nebo v rámci vápnění, případně jej můžeme provést i při aplikaci draselných a dusíkatých hnojiv, z nichž některé hořčík obsahují (Ducsay & Provazník 2018).

3.2.3.2.3 Hnojení sírou

Dostatečný přísun síry pro pšenici se pohybuje v rozmezí 20 - 30 kg/ha a to nejlépe ve formě síranů, kdy je významným předpokladem stabilizace výnosu a zlepšení kvality zrna. Počátek sloupkování je rozhodující vegetační fází. Nejvhodnějším termínem pro aplikaci síry k pšenici je odnožování až počátek sloupkování (Ryant et al. 2017).

Vzhledem ke značné pohyblivosti přístupných forem síry v půdě, vzniká nutnost dávky hnojiva rozdělit, kdy podobně jako u dusíku aplikujeme větší část hnojiva v jarním období. Při základním hnojení lze využít k aplikaci síry draselná nebo hořečnatá hnojiva s jejím obsahem.

Pokud bude realizováno hnojení dusíkem, pak lze využít některé dusíkaté hnojivo se sírou (Černý et al. 2014).

3.3 Hnojiva

Hnojiva jsou látky, které poskytují rostlinám živiny, mohou tedy zlepšit výživu rostlin, půdní vlastnosti a půdní úrodnost. Tím příznivě ovlivňují růst, výnos a kvalitu rostlinné produkce. Dělíme je na organická a minerální (Vaněk et al. 2012).

Statková (organická) hnojiva jsou většinou vyráběna přímo v zemědělském podniku. Jejich složení a obsah živin je z velké části odrazem živinného režimu půd dané oblasti, způsobu uložení, ošetřování a druhu zvířat, která je produkují. Mají vysokou hnojivou hodnotu. Statková hnojiva mohou být různého původu, jsou to jednak hnojiva stájová (hnůj, močůvka, kejda) dále rostlinného původu (sláma, zelené hnojení) a komposty. Hlavním posláním organických hnojiv je dodání dostatečného množství organických látek do půdy.

Minerální (koncentrovaná, průmyslová) hnojiva jsou většinou výrobky chemického průmyslu (Vaněk et al. 2012). Vyznačují se vyšším obsahem živin, obsahují jednu nebo více živin. Jsou vyráběna z přírodních surovin (fosfáty, draselné minerály, vápence) a zdrojem dusíku je přímá syntéza amoniaku z dusíku a vodíku (Vaněk et al. 2016). V procesu výroby se většinou omezuje množství vedlejších složek použitých surovin, čímž se koncentruje obsah živin, které se transformují do využitelných forem pro rostliny (Vaněk et al. 2012).

3.3.1 Použitá organická hnojiva

3.3.1.1 Chlévský hnůj

Výše produkce chlévské mrvy, obsah sušiny, organických látek a živin závisí na druhu zvířat, jejich stáří, krmení, způsobu ustájení a zejména druhu a množství steliva.

Proces zrání mrvy představuje kvašení, tlení a hnití, při kterém se komponenty rozkládají a následně přeměňují a transformují na látky jiného kvalitativního složení. Největší intenzita rozkladu organických látek probíhá za přístupu vzduchu, kdy z C organických látek je produkováno CO_2 a z N organických látek je uvolňován NH_3 . Jelikož uložená hmota nemá výraznější schopnost poutání vytvořeného NH_3 , mohou nastávat poměrně vysoké ztráty N (Vaněk et al. 2016).

Pokud nejsou při procesu zrání hnoje splněny všechny náležité podmínky, dochází ke ztrátám jak organických látek 50 – 60 %, tak i ke ztrátám na živinách, kdy u dusíku tyto stráty činí 30 – 40 %.

Hnojem se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou, které jsou náročné na plynulé a dlouhodobé dodávání živin v pohotové formě. Množství a četnost hnojení na orné půdě je závislá na druhu půdy. Střední dávky průměrně kvalitního hnoje na hektar u obilnin činí 20 t. Za vyhovující úroveň hnojení hnojem lze považovat dávku 35 – 40 t hnoje na ha, aplikovanou na každý pozemek 1x za 4 – 5 let, při běžném zastoupení plodin v osevním postupu. Hnůj působí v půdě více let a to zpravidla 3 – 5 let. Také využití živin z hnoje je rozloženo na delší období, které se pohybuje kolem tří let.

Jestliže aplikujeme 40 t hnoje skotu/ha, při uvažovaném využití v prním roce bude mít hnojená plodina k dispozici okolo 48 kg N, 6,6 kg P a 83 kg K. Tyto živiny a zvláště dusík je nutné zohlednit při dalším hnojení minerálními hnojivy.

Hnůj a komposty se aplikují nejčastěji po sklizni obilnin koncem léta a v podzimním období. Stávající předpisy ukládají povinnost zapravení hnoje a kompostu do 48 hodin. Z hlediska vysokého rizika úniku živin je vhodné okamžité zapravení (Vaněk et al. 2007).

3.3.1.2 Kaly z čistíren odpadních vod

Velkým kladem čistírenských kalů je vysoký obsah organických látek (viz tabulka 3) a živin, především dusíku a fosforu (Vaněk et al. 2016).

Dusík je zde obsažen v organické i minerální formě a to jako amonný nebo nitrátový. Forma dusíku je důležitá vzhledem ke stanovení přístupnosti živiny pro rostliny. Koncentrace anorganického a organického dusíku je ovlivněna způsobem ošetření a manipulací při použití (Černý et al. 2009).

Obsah živin však závisí na původu kalu a jeho následném ošetření. Dále obsahují i velké, avšak poměrně nestálé množství vody (okolo 70 %).

Upravenými kaly se do půdy dostává velké množství relativně dobře a rychle rozložitelných organických látek (Vaněk et al. 2016).

Tabulka 3 Průměrné složení kalů (Mata-Alvarez et al. 2000)

	Primární	Sekundární	Stabilizovaný, odvodněný
Anorganický podíl [%]	30 – 53	18 – 37	38 – 66
Organický podíl [%]	47 – 70	63 – 82	34 – 62
Obsah vody [%]	88 – 97	95 – 98	64 – 83

Jestliže použijeme nejvyšší povolenou dávku upraveného kalu, která činí 5 t sušiny/ha/rok, dodáme tím do půdy 160 kg N, 60 kg P, 15 kg K, 125 kg Ca a 20 kg Mg. Tyto živiny z velké části již v prvním roce přejdou do forem přijatelných pro rostliny (Vaněk et al. 2016).

3.3.2 Použitá minerální hnojiva

3.3.2.1 Draselná sůl (DS – 50 % K)

Obsahuje téměř 96 % KCl – min. 49,5 % draslíku, 47 % chlóru a malé množství sodíku. Jedná se o téměř univerzální draselné hnojivo, které lze použít na všech půdách a ke všem plodinám s výjimkou plodin citlivých na chlór. Hnojivo lze použít jak při předset'ové přípravě, tak i při orbě (Vaněk et al. 2016).

3.3.2.2 Superfosfát trojitý – granulovaný (TSP 20-21 % P)

Hnojivo se vyrábí rozkladem surových fosfátů kyselinou fosforečnou. Téměř veškerý fosfor je vodorozpustný – ve formě $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Superfosfáty jsou univerzální hnojiva pro všechny plodiny. Aplikace superfosfátů se provádí dle půdní reakce, zásobenosti půdy fosforem a půdního druhu (Vaněk et al. 2012).

3.3.2.3 Ledek amonný s vápencem (LAV – 26 – 27,5 % N)

Jedná se o nejpoužívanější tuhé dusíkaté hnojivo v ČR, které se vyrábí z dusičnanu amonného a jemně mletého vápence ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$). Z celkového dusíku obsaženém v hnojivu je 1/2 v amonné a 1/2 v nitrátové formě. Obsah N ve většině hnojiv tohoto typu je

okolo 27 % (viz tabulka 4). Avšak díky možnosti použití i jiných sloučenin a dodání např. Mg a S jsou vyráběna hnojiva s přídavkem (Vaněk et al. 2016).

Tabulka 4 Obsah živin ledků vyráběných v ČR (Vaněk et al. 2016)

	N [%]	Ca [%]	Mg [%]
LAV 27,5	27,5	8	0
LAD 27,5	27,5	4	3

Díky přítomnosti rychleji působící nitrátové a pozvolněji působící amonné formě dusíku je toto hnojivo téměř univerzální. Můžeme jej tak použít jak při předsevňovém hnojení, tak i v průběhu vegetace hnojením na list. Jeho univerzálnost lze hodnotit i z hlediska půdních vlastností, kdy jej můžeme použít do všech půd. Značnou výhodou LAV oproti klasickým ledkům je to, že k přihnojení lze využít vyšší dávky, a tím snížit počet vstupů do porostu (Vaněk et al. 2007).

4 Metodika

4.1 Charakteristika pokusných stanovišť

Hodnocení příjmu a využití dusíku ozimou pšenicí bylo provedeno v rámci dlouhodobých polních pokusů katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin (KAVR) ČZU v Praze. Pokusy KAVR byly založeny na podzim roku 1996. Jedná se celkem o pět stanovišť na území České republiky, které se nacházejí v rozdílných půdně-klimatických podmínkách. Jmenovitě se jedná o stanoviště: Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec (u Pacova) a Praha–Suchdol. V této práci jsou hodnocena pokusná stanoviště Humpolec a Praha–Suchdol, charakterizována v tabulce 5.

Tabulka 5 Charakteristika pokusných stanovišť

Stanoviště	Humpolec	Praha–Suchdol
Lokalizace	49°33'16"N, 15°21'2"E	50°7'40"N, 14°22'33"E
Nadmořská výška (m n. m.)	525	286
Průměrná roční teplota (°C)	7,0	9,1
Průměrné roční srážky (mm)	665	495
Půdní typ	Kambizem	Černozem
Půdní subtyp	modální	Modální
Půdní druh	píščito-hlinitá	hlinito-píščitá

4.2 Informace o variantách

4.2.1 Uspořádání pokusů

V pokusech jsou střídány tři plodiny (brambory, ozimá pšenice, jarní ječmen). Uspořádání pokusů umožňuje pěstování všech tří plodin v každém roce. Díky této krátké rotaci lze hodnotit krátkodobé i dlouhodobé změny sledovaných parametrů.

V rámci práce byly vyhodnocovány výsledky ze šesti pokusných variant. 1. nehnojená varianta (**Kontrola**), 2. kaly z ČOV (**Kal**), 3. chlévský hnůj (**Hnůj**), 4. poloviční dávka chlévského hnoje s přidavkem dusíku z minerálního dusíkatého hnojiva (**Hnůj 1/2 + N**), 5. minerální hnojivo s obsahem N, P, K (**NPK**), 6. minerální dusíkaté hnojivo (**N**).

Na stanovišti Humpolec je pracováno s pokusnou parcelou o velikosti 60 m², na pokusném stanovišti Suchdol je velikost parcely 60,5 m² (Černý et al. 2010).

4.2.2 Systém hnojení

Pokud jde o hnojení, je aplikovaná dávka dusíku v rámci pokusu, za tříletou rotaci, pro všechny varianty stejná, mimo kontrolu, a to 330 kg N/ha. Dávky živin v aplikovaných hnojivech znázorňuje tabulka 6.

Vzhledem k tomu, že je pracováno s různými typy hnojiv, je jejich aplikace poněkud rozdílná. Dávka minerálních dusíkatých hnojiv je u ozimé pšenice rozdělena na dvě poloviny. První je regenerační přihnojení a druhá je dávka produkčního přihnojení. Doba aplikace draselných a fosforečných minerálních hnojiv je ke všem plodinám stejná, a to na podzim. Organická hnojiva jako je chlévský hnůj a čistírenské kaly jsou aplikována pouze pod brambory, a to na podzim.

Tabulka 6 Dávky živin v aplikovaných hnojivech [kg/ha]

Varianta	Ozimá pšenice			Σ (tříletý cyklus)		
	N	P	K	N	P	K
Kontrola	-	-	-	-	-	-
Kal 1	0	0	0	330	201 *	55 *
Hnůj	0	0	0	330	118 *	374 *
Hnůj 1/2 + N **	110	0	0	330	59 *	187 *
NPK **	140	30	100	330	90	300
N **	140	0	0	330	0	0

* Jedná se o průměrnou dávku dle živin obsažených v hnojivech

**Minerální hnojiva: N – LAV (27 % N), P – TSP (20 – 21 % P), K – DS (50 % K)

4.3 Charakteristika pěstované odrůdy

V rámci pokusu KAVR – ČZU v Praze byla použita odrůda ozimé pšenice RGT Reform, jejíž potravinářská jakost je A. Jedná se o polopozdní až pozdní odrůdu, registrovanou v SRN, kde byla v letech 2015 - 2016 nejvíce množena odrůdou pšenice.

Mezi přednosti, díky nimž je tato odrůda tak ceněna patří:

- schopnost zajistit velmi slušný výnos ve všech výrobních oblastech
- výborná mrazuvzdornost
- velmi dobrá schopnost tvorby odnoží
- nižší habitus rostlin s pevným stéblem, díky kterému je snížena možnost polehání porostu
- vinikající zdravotní stav listové plochy i klasu (např. vysoká odolnost fusáriím), díky kterému je možné odrůdu zařadit do osevního postupu po pšenici či kukuřici

(Anonym 2016)

Termín výsevu je od poloviny září až do konce října, avšak pozdní výsevy této odrůdě nevdají. Výsevek se pohybuje od 3 – 4,4 MKS/ha. Tato hodnota je pro každého pěstitele jiná, vzhledem k době výsevu a výrobní oblasti, ve které bude porost založen (Anonym nedatováno).

4.4 Stanovení výnosu

Porost ozimé pšenice byl sklizen v plné zralosti maloparcelkovou sklízecí mlátičkou s přesně definovanou šířkou záběru žací lišty. Při sklizni byl hodnocen výnos zrna a slámy. Reprezentativní vzorky zrna i slámy byly po sklizni vyčištěny od nežádoucích příměsí. U všech vzorků byla stanovena sušina a výnos je vyjádřen, jako výnos sušiny. Na základě sklizené plochy byl u všech vzorků stanoven výnos v t/ha.

4.5 Stanovení obsahu dusíku v rostlinách

Obsah dusíku v rostlinách ozimé pšenice byl stanoven postupem podle Kjeldahla. Tato metoda je založena na principu přeměny organického dusíku na síran amonný, pomocí koncentrované H_2SO_4 . Vzniklý amoniak se zavádí do roztoku HBO_3 za alkalických podmínek. Vzniklé boritanové anionty se následně titrují standardizovanou HCl . Na základě spotřeby HCl při titraci se vypočítá obsah dusíku ve vzorku (Jiang et al. 2014).

4.5.1 Příprava vzorků a mineralizace

Pro přípravu vzorku se naváží 0,5 g rostlinného materiálu, rozmělněné zrno a sláma. Do kyvet se k naváženému materiálu odměří dvě lžičky katalyzátoru pro mineralizaci (směs $K_2SO_4 + Se + CuSO_4 \cdot 5 H_2O$). Takto připravené kyvety jsou vkládány do číselně označených panelů, tak aby bylo zřejmé, z jakého pokusného stanoviště vzorky pochází.

Kyvety jsou do panelu, kde je 20 pozic, vkládány dle zavedených pravidel. V pozici č. 1 je vždy slepý vzorek (BLANK), který obsahuje pouze katalyzátor bez rostlinného vzorku. Na pozici č. 2 je vkládán STANDARD, který obsahuje katalyzátor a 0,5 g rostlinného materiálu o známém obsahu N. Dále jsou řazeny vzorky pro analýzu, kdy každý vzorek je analyzován ve dvou opakování.

Takto připravený panel se vzorky je přemístěn do spalovny. Zde je do každé z kyvet pomocí dávkovače přidáno 10 ml 96% H_2SO_4 . Po tomto úkonu je panel vložen do topného hnízda a na kyvety je umístěna hlavice s víčky a odvody na odsávání par. Následně je spuštěno topné zařízení, ve kterém po dobu dvou hodin probíhá mineralizace vzorků. Během prvních 30 minut je plotýnka ohřívána na 367 °C. V následných 30 minutách dochází k zahřátí plotýnky na požadovanou teplotu 400 °C. Po dobu druhé hodiny dochází nejdříve k pomalému snižování teploty a v posledních 30 minutách panel vyjíždí nahoru a chladne.

4.5.2 Destilace a stanovení obsahu dusíku titrací HCl

Zmineralizované vzorky jsou následně přemístěny do carouselu přístroje Gerhardt, kde je nutné zachovat stejné pořadí vzorků jako v panelu. Pro získání správných výsledků měření je nutné zabezpečit přítomnost používaných chemikálií v přístroji. Pro analýzu je nutné sledovat obsah a doplňovat roztok kyseliny borité, kyseliny chlorovodíkové, roztok hydroxidu sodného a DEMI H_2O .

Analýza vzorků je zahajována a řízena pomocí počítačového programu Vapodest Manager. V tomto programu jsou uvedena jména panelů, hmotnost navážky jednotlivých vzorků a další informace o vzorcích. V průběhu analýzy je na monitoru počítače znázorňována právě probíhající aktivita v přístroji.

Analýza dle Kjeldahla sestává z několika na sebe navazujících kroků:

1. přidávání $NaOH$ do kyvety, jež bude podrobena měření
2. destilace vzniklého roztoku – těkání amoniakálního dusíku do nádoby s roztokem H_3BO_3
3. titrace vzorku pomocí HCl
4. odsávání vzorku

Po dokončení celého cyklu, je na základě spotřebované HCl při titraci a navážky vzorku stanoven obsah dusíku (%) v rostlinném materiálu. Výsledné hodnoty jsou zaznamenávány do tabulky v programu Vapodest Manager.

4.6 Odběr dusíku

Odběr dusíku ozimou pšenicí byl stanoven na základě procentuálního obsahu dusíku v jednotlivých částech rostlin (zrno, sláma) a pak celkově v nadzemní části rostliny, s ohledem na jejich výnos. V kořenech a opadaných částech rostlin odběr dusíku nebyl hodnocen. Pro stanovení odběru dusíku rostlinným materiálem bylo postupováno dle následujícího postupu.

Odběr dusíku (kg/ha) = obsah dusíku v rostlinném materiálu (%) x 10 x výnos hodnocené části rostlin (t/ha).

4.7 Bilance

Bilance dusíku u minerálního hnojení byla stanovena na základě hektarového odběru dusíku u jednotlivých hnojiv s ohledem na dávku dusíku, která byla aplikována.

Bilance (kg N/ha) = aplikovaná dávka dusíku (kg/ha) – odběr dusíku (kg/ha)

Bilance dusíku na variantách s organickými hnojivy byla stanovena na základě hektarového odběru dusíku s ohledem na procentuální využitelnost ve druhém roce z dávky dusíku, která byla aplikována v organických hnojivech. Využitelnost u varianty Kal byla počítána 15 % z aplikované dávky v prvním roce (Tarrasón et al. 2008). U varianty Hnůj bylo počítáno 10 % z aplikované dávky (Eghball et al. 2002) a na variantě Hnůj 1/2 + N bylo počítáno s využitelností 16 % (Eghball 2000; Klausner et al. 1994).

Bilance (kg N/ha) =

% podíl (množství) využitelného dusíku v druhém roce (kg/ha) – odběr dusíku (kg/ha)

4.8 Zpracování výsledků

Naměřená data z jednotlivých zkoumaných variant na pokusných stanovištích Praha – Suchdol a Humpolec byla vyhodnocena za pomoci MS Excel. K názorné vizualizaci většiny zpracovaných výsledků byl využit software STATISTICA 12. Zde byly výsledky převedeny do podoby sloupcových a bodových grafů. Minoritně byly použity dvojrozměrné sloupcové grafy, vytvořené v MS Excel.

5 Výsledky

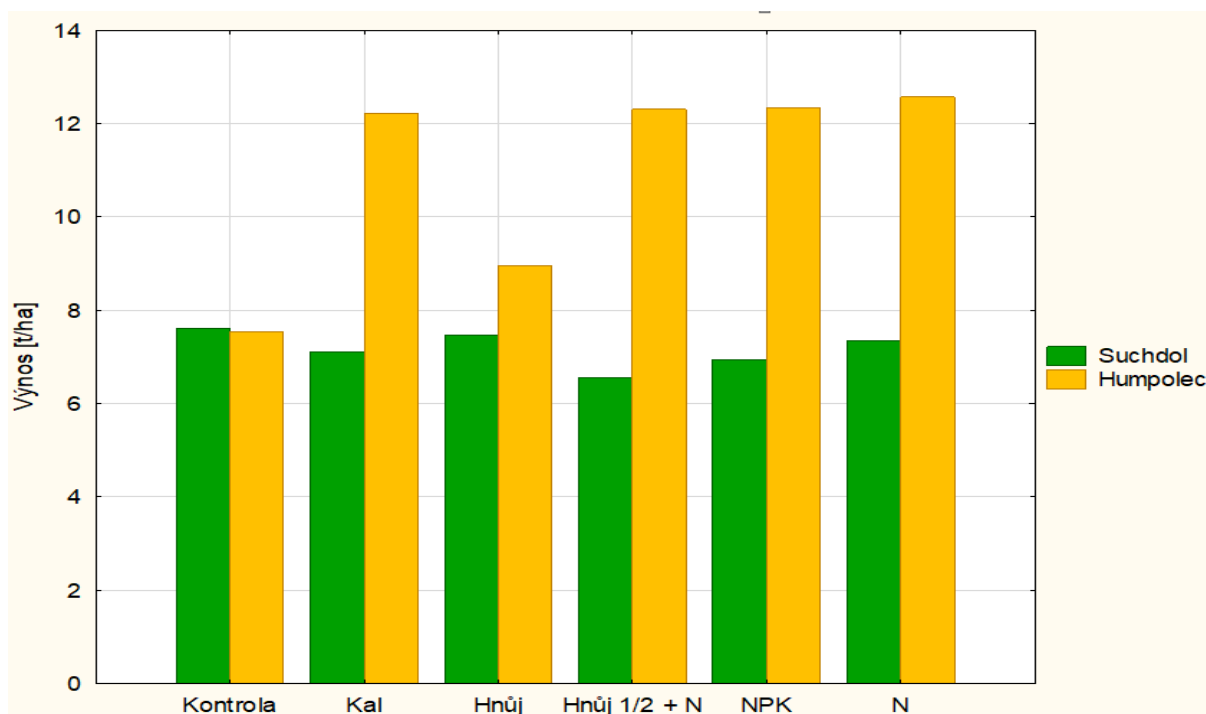
Pro hodnocení výsledků byla použita data získaná z dlouhodobých polních pokusů KAVR ČZU v Praze. Je hodnocen hospodářský rok 2018/2019.

5.1 Výnos

5.1.1 Výnos zrna

Srovnávány byly výnosy zrna na lokalitách Praha–Suchdol a Humpolec. Nejnižšího výnosu bylo dosaženo na variantě Hnůj 1/2 + N na stanovišti Suchdol (viz graf 1), kde bylo dosaženo výnosu 6,54 t/ha. Naopak nejvyššího výnosu bylo dosaženo na variantě N na stanovišti Humpolec, kde výnos dosáhl 12,57 t/ha. Z grafu je patrné, že na stanovišti Praha–Suchdol vykazovaly všechny hnojené varianty nižší výnos oproti kontrole. Naopak na stanovišti Humpolec, bylo dosaženo nejvyššího výnosu na variantě Kontrola (7,53 t/ha).

Graf 1 Výnos zrna



5.1.1.1 Praha-Suchdol

Nejvyššího výnosu zrna bylo dosaženo na nehnojené variantě Kontrola a to 7,61 t/ha, jak uvádí tabulka 7. V rámci tohoto stanoviště všechny ostatní hnojené varianty měly oproti kontrole výnos nižší, kdy nejhůře dopadla varianta Hnůj 1/2 + N, kde došlo ke snížení výnosu oproti kontrole o 14 %. Naopak nejlépe dopadla varianta Hnůj s výnosem 7,47 t/ha, kde pokles výnosu činí 2 %. Druhý nejvyšší výnos z hnojených variant byl dosažen na variantě N a to 7,35 t/ha.

Tabulka 7 Výnos zrna na jednotlivých variantách Praha-Suchdol

Varianta	Výnos [t/ha]	% ke kontrole
Kontrola	7,61	100
Kal	7,10	93
Hnůj	7,47	98
Hnůj 1/2 + N	6,54	86
NPK	6,94	91
N	7,35	97

5.1.1.2 Humpolec

Na tomto stanovišti nedošlo u žádné ze sledovaných variant k poklesu výnosu zrna oproti výnosu na Kontrolě, který byl 7,53 t/ha, jenž můžeme vidět v tabulce 8. Nejnižší výnos z hnojených variant byl 8,94 t/ha u Hnoje. Nejvyšších výsledků zde bylo dosaženo sestupně na variantách N 12,57 t/ha, NPK 12,33 t/ha a Hnůj 1/2+ N 12,30 t/ha. U nejvyššího dosaženého výnosu tak došlo k nárůstu o 67 % oproti variantě Kontrola.

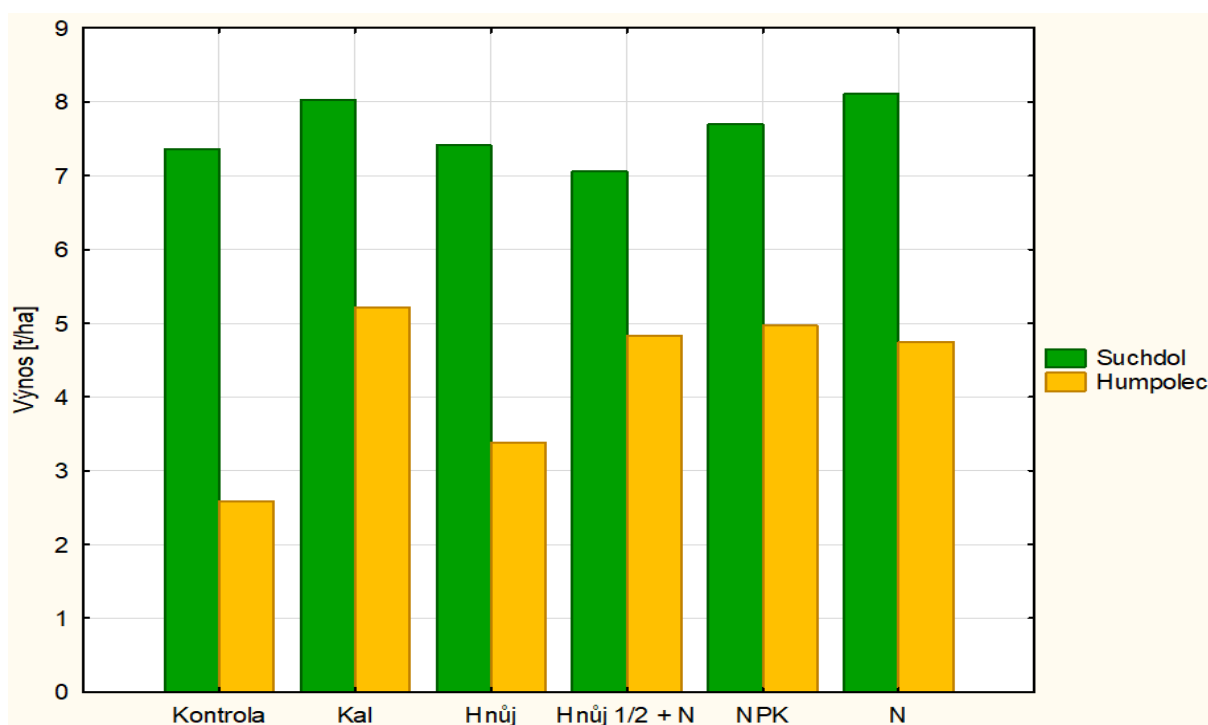
Tabulka 8 Výnos zrna na jednotlivých variantách Humpolec

Varianta	Výnos [t/ha]	% ke kontrole
Kontrola	7,53	100
Kal	12,22	162
Hnůj	8,94	119
Hnůj 1/2 + N	12,30	163
NPK	12,33	164
N	12,57	167

5.1.2 Výnos slámy

Z grafu 2 vyplývá, že výnos slámy byl celkově vyšší na stanovišti Praha-Suchdol než v Humpolci oproti výnosu zrna, kde tomu bylo přesně naopak. Nejnižšího výnosu bylo dosaženo na variantě Kontrola na stanovišti Humpolec a to 2,58 t/ha. Naopak nejvyšší byl výnos na Suchdole 8,11 t/ha na variantě N.

Graf 2 Výnos slámy



5.1.2.1 Praha-Suchdol

Opět na tomto stanovišti došlo k poklesu výnosu oproti kontrole. Tentokrát pouze na variantě Hnůj 1/2 + N, kdy výnos 7,06 t/ha byl o 4 % nižší (viz tabulka 9). Tato varianta, tak dosáhla zároveň i nejnižšího výnosu. Na druhé straně nejvyššího nárůstu výnosu oproti kontrole dosáhla varianta N s výnosem 8,11 t/ha a nárůstem 10 % výnosu. Druhý nejvyšší výnos byl na variantě Kal 8,03 t/ha a nárůstem 9 %.

Tabulka 9 Výnos slámy na vybraných variantách Praha-Suchdol

Varianta	Výnos [t/ha]	% ke kontrole
Kontrola	7,36	100
Kal	8,03	109
Hnůj	7,41	101
Hnůj 1/2 + N	7,06	96
NPK	7,70	105
N	8,11	110

5.1.2.2 Humpolec

Jak je patrné z tabulky 10, nejnižší výnos byl na variantě Kontrola 2,58 t/ha. U všech hnojených variant byl zaznamenán nárůst výnosu. Kdy nejvyšší byl na variantě Kal 5,21 t/ha s nárůstem 102 % oproti kontrolní variantě. Druhým nejvyšším výnosem je 4,97 t/ha na hnojené variantě NPK, kde nárůst oproti kontrole činil 93 %. Naopak nejnižším výnosem na hnojené

variantě byl výnos 3,38 t/ha na variantě Hnůj, kde došlo k nárůstu oproti kontrole pouze o 31 %.

Tabulka 10 Výnos slámy na vybraných variantách Humpolec

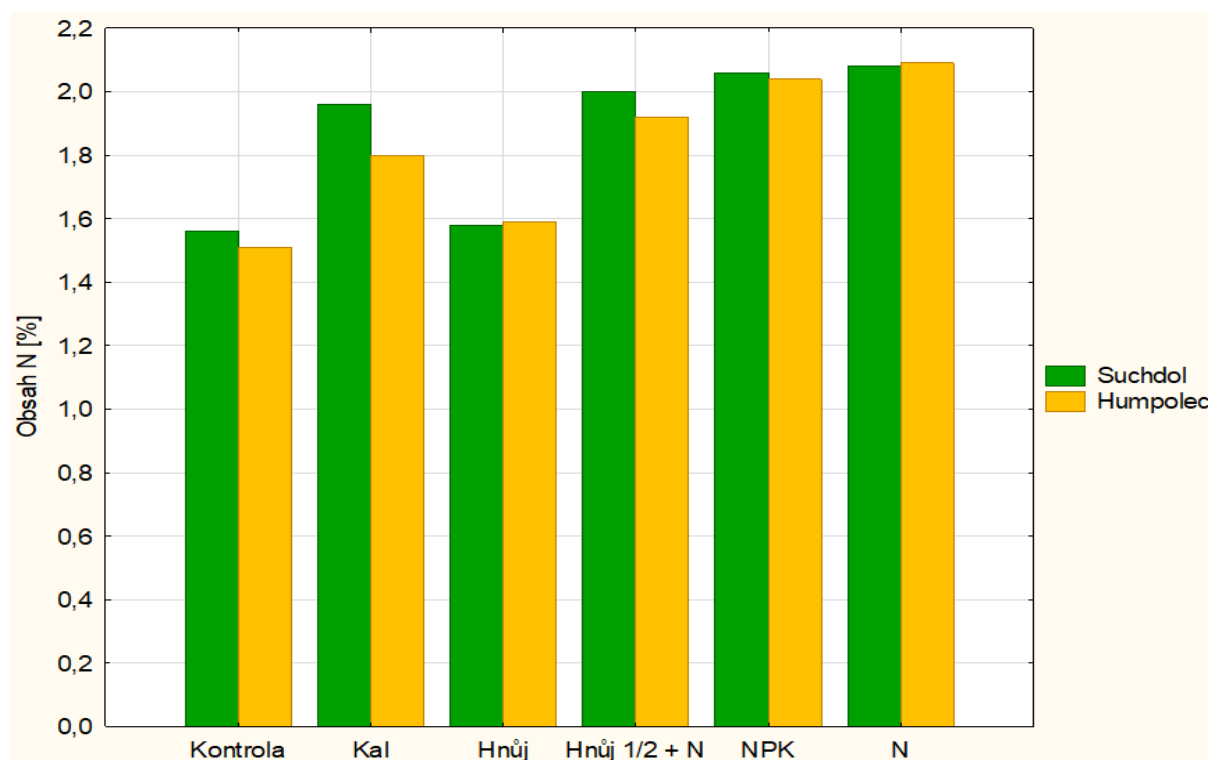
Varianta	Výnos [t/ha]	% ke kontrole
Kontrola	2,58	100
Kal	5,21	202
Hnůj	3,38	131
Hnůj 1/2 + N	4,83	187
NPK	4,97	193
N	4,75	184

5.2 Obsah dusíku v rostlině

5.2.1 Obsah dusíku v zrně

Na obou sledovaných stanovištích byl podobný vývoj v procentuálním obsahu dusíku v zrně. Při porovnání obou stanovišť nedošlo k pozorování snížení obsahu dusíku v zrně u jednotlivých variant oproti kontrole. Nejnižší obsahy tedy byly sledovány na variantách Kontrola, kdy na Suchdole bylo v zrně 1,56 % dusíku a na stanovišti Humpolec o 0,05 % méně (viz graf 3). Podobné hodnoty byly zjištěny i u varianty Hnůj, kde byl zjištěn obsah dusíku do 1,59 %.

Graf 3 Obsah dusíku v zrně



5.2.1.1 Praha-Suchdol

Z grafu 3 je zřejmé, že ve většině sledovaných variant, kromě varianty Hnůj a N, je vyšší obsah dusíku v zrně právě na stanovišti Suchdol. Nejnižší obsah dusíku v zrně byl sledován u varianty Kontrola, a naopak nejvyšší u varianty hnojené minerálním dusíkem, kde byl zjištěn obsah dusíku 2,08 %, což je oproti kontrole nárůst o 33 % (viz tabulka 11). Nejvyšší obsahy dusíku v zrně jsou sledovány na variantách hnojených minerálními hnojivy a variantě Hnůj 1/2 + N, kdy u všech variant je obsah dusíku v zrně 2,00 % a více. Naopak na variantě, kde byl aplikován hnůj, se obsah dusíku v zrně blíží obsahu zjištěnému u kontroly a došlo tak k nárůstu obsahu oproti kontrole o 1 %.

Tabulka 11 Obsah dusíku v zrně Praha-Suchdol

Varianta	Obsah N [%]	% ke kontrole
Kontrola	1,56	100
Kal	1,96	126
Hnůj	1,58	101
Hnůj 1/2 + N	2,00	128
NPK	2,06	132
N	2,08	133

5.2.1.2 Humpolec

V obsahu dusíku v zrně na stanovišti Humpolec byl zachován u jednotlivých variant stejný trend jako na stanovišti Suchdol. Tedy nejvyšší obsahy dusíku v zrně byly dle tabulky 12 zjištěny na variantách hnojených minerálními hnojivy a variantě Hnůj 1/2 + N, kde došlo k nárůstu oproti kontrole o 27 % a více. V případě varianty N, byl nárůst oproti kontrole 38 %, což bylo více než na stanovišti Praha-Suchdol (33 %). Obsahy dusíku v zrně u kontroly a varianty Hnůj byly rozdílné o 0,08 %, přičemž v zrně kontroly bylo zjištěno 1,51 % dusíku.

Tabulka 12 Obsah dusíku v zrně Humpolec

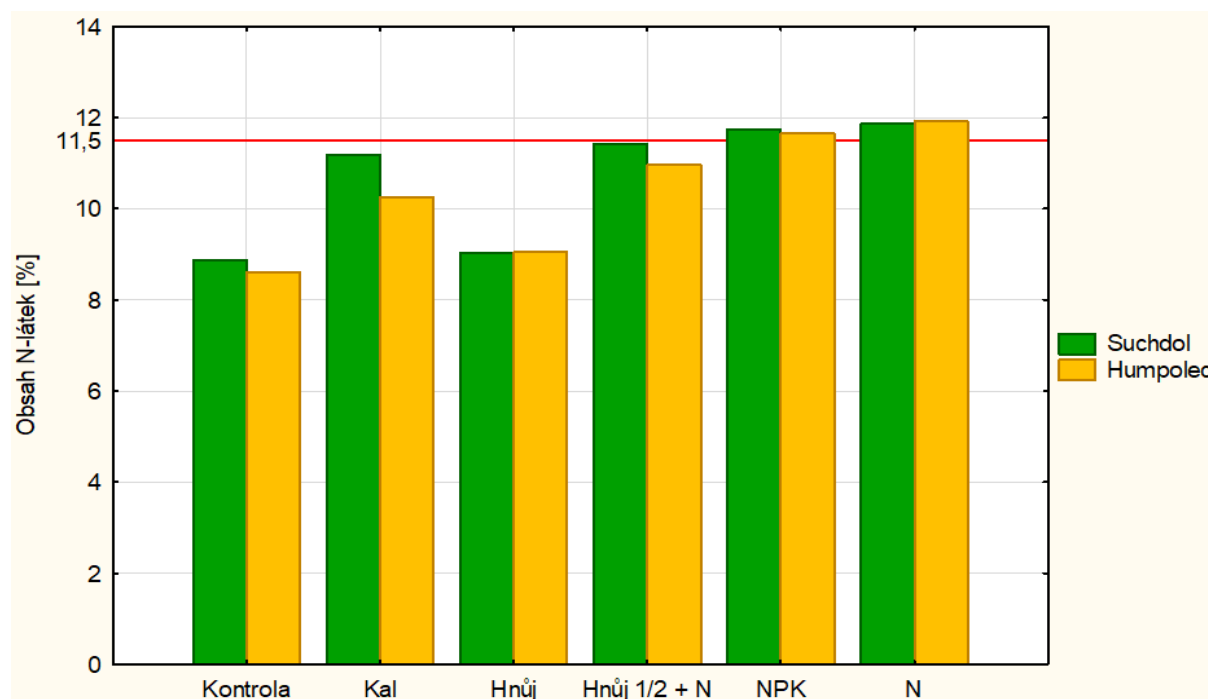
Varianta	Obsah N [%]	% ke kontrole
Kontrola	1,51	100
Kal	1,80	119
Hnůj	1,59	105
Hnůj 1/2 + N	1,92	127
NPK	2,04	135
N	2,09	138

5.2.2 Obsah dusíkatých látek v zrně

Aplikace hnojiv obsahujících dusík podporuje tvorbu bílkovinného komplexu v zrně a tím i kvalitu zrna. Dle normy ČSN 46 1011-18 je minimální obsah N-látek v zrně potravinářské pšenice 11,5 %. Z jednotlivých variant je možné za pšenici v potravinářské kvalitě označit pouze ty, které byly pěstovány na variantách hnojených minerálním dusíkem, tedy NPK a N.

Na těchto variantách byly obsahy dusíkatých látek vyšší než minimální hranice 11,5 % na stanovišti Praha–Suchdol i Humpolec. Při srovnání obou stanovišť je z grafu 4 zřejmé, že na stanovišti Suchdol byl v zrně většiny variant (kromě varianty Hnůj a NPK) zjištěn vyšší procentuální obsah dusíkatých látek než na stanovišti Humpolec. U varianty Hnůj je zjištěna na obou stanovištích podobná hodnota N-látek v zrně jako u kontroly, kde v případě kontroly byl obsah dusíkatých látek v rozmezí 8,60 – 8,88 % a u varianty Hnůj v rozmezí 9,03 – 9,05 %.

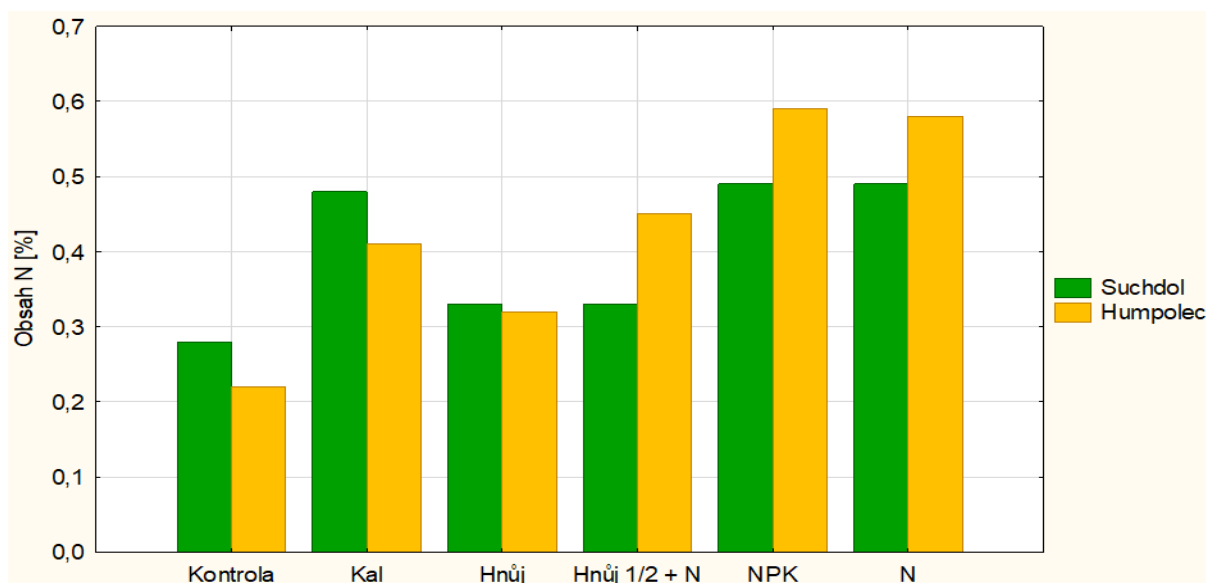
Graf 4 Obsah N-látek v zrně



5.2.3 Obsah dusíku ve slámě

Na všech hnojených variantách byl zjištěn vyšší obsah dusíku ve slámě než u kontroly. U variant Kontrola, Kal a Hnůj byl sledován vyšší procentuální obsah N ve slámě na staovišti Suchdol oproti Humpolci, kdežto na variantách s aplikovanými minerálními hnojivy byly sledovány vyšší obsahy u variant Hnůj 1/2 + N, NPK a N na stanovišti Humpolec (viz graf 5).

Graf 5 Obsah dusíku ve slámě



5.2.3.1 Praha-Suchdol

Na stanovišti Suchdol bylo ve slámě zjištěno 0,28 % N na variantě Kontrola. Nejbližší obsah byl pak zjištěn u varianty Hnůj a Hnůj 1/2 + N, kde bylo o 18 % více dusíku. Nejvyšší obsahy byly zjištěny u variant hnojených minerálními hnojivy. Zde byl obsah dusíku ve slámě 0,49 %, což je o 75 % více než u kontroly. U varianty Kal byl zjištěný obsah dusíku oproti NPK a N variantám nižší o 0,01 % (viz tabulka 13).

Tabulka 13 Obsah dusíku ve slámě Suchdol

Varianta	Obsah N [%]	% ke kontrole
Kontrola	0,28	100
Kal	0,48	171
Hnůj	0,33	118
Hnůj 1/2 + N	0,33	118
NPK	0,49	175
N	0,49	175

5.2.3.2 Humpolec

Oproti kontrole na Suchdole, kontrola na stanovišti Humpolec obsahovala ve slámě nižší obsah dusíku (0,22 %). Druhý nejnižší obsah dusíku ve slámě byl zjištěn pouze u varianty Hnůj, ale na rozdíl od stanoviště Praha-Suchdol byl vyšší o 0,1 % než u kontroly. V tabulce 14 je patrné, že nejvyšší obsahy dusíku byly sledovány na variantách hnojených pouze minerálními hnojivy a variantě Hnůj 1/2 + N, kde byl nárůst obsahu oproti kontrole o více jako 100 % (konkrétně varianta Hnůj 1/2 + N o 105 %, N o 164 % a NPK o 168 %).

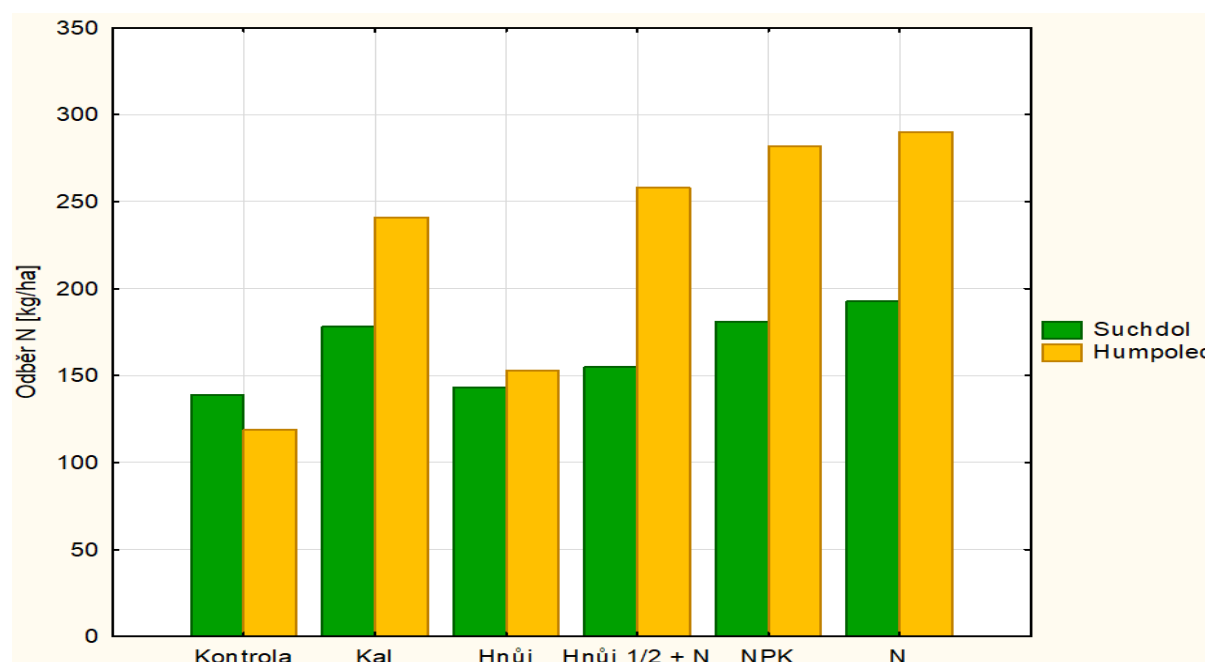
Tabulka 14 Obsah dusíku ve slámě Humpolec

Varianta	Obsah N [%]	% ke kontrole
Kontrola	0,22	100
Kal	0,41	186
Hnůj	0,32	145
Hnůj 1/2 + N	0,45	205
NPK	0,59	268
N	0,58	264

5.3 Odběr dusíku

Z grafu 6 je patrné, že rostliny na stanovišti Humpolec odebraly na hnojených variantách podstatně více dusíku než na stanovišti Suchdol. Zároveň na obou dvou stanovištích nedošlo u hnojených variant k poklesu odběru dusíku vůči kontrolní variantě. Nejnižší odběr u obou stanovišť vykazuje organicky hnojená varianta Hnůj s odběrem 143 kg/ha Suchdol a 153 kg/ha Humpolec. Naopak nejvyššího odběru, 193 kg/ha Suchdol a 290 kg/ha Humpolec, dosáhla varianta s minerálním N.

Graf 6 Odběr dusíku



5.3.1 Praha-Suchdol

5.3.1.1 Zrno

Nejvyšší odběr byl na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivými (viz graf 7). Zrno na variantě N odebralo 153 kg N/ha, což bylo 79 % z celkového odběru, a na variantě NPK 143 kg N/ha, tedy taktéž 79 % z celkového odběru, jak je vidět v tabulce 15. Nejnižší celkový odběr byl zaznamenán na variantě Kontrola (139 kg N/ha), přičemž zrno odebralo 85 %. Na nehnojené variantě a na variantě Hnůj 1/2 + N byl zaznamenán nejvyšší procentuální

odběr dusíku zrnem z celkového odběru. Druhý nejvyšší procentuální odběr (83 %) byl zaznamenán na variantě Hnůj, kde z celkového odběru 143 kg N/ha bylo odebráno zrnem 118 kg N/ha.

Graf 7 Odběr dusíku zrnem a slámou Suchdol



5.3.1.2 Sláma

Z tabulky 15 je patrné, že nejnižší absolutní odběr dusíku slámou byl pozorován na variantě Kontrola, kde činil 20 kg N/ha z celkově odbraných 139 kg N/ha. Při relativním vyjádření pak činí odběr slámou na variantě Kontrola 15 %, což je stejný podíl jako na variantě Hnůj 1/2 + N, kde bylo slámou odebráno 24 kg N/ha z celkového odběru 155 kg N/ha. Nejvyšší odběr byl v relativním vyjádření zaznamenán na variantě Kal (22 %), avšak v absolutních hodnotách to bylo na variantě N (40 kg N/ha), což z celku představovalo 21 % stejně jako na variantě NPK. Na druhé minerálně hnojené variantě byl zaznamenán celkový odběr 181 kg N/ha, z čehož 143 kg (79 %) bylo odebráno zrnem.

Tabulka 15 Odběry dusíku Suchdol

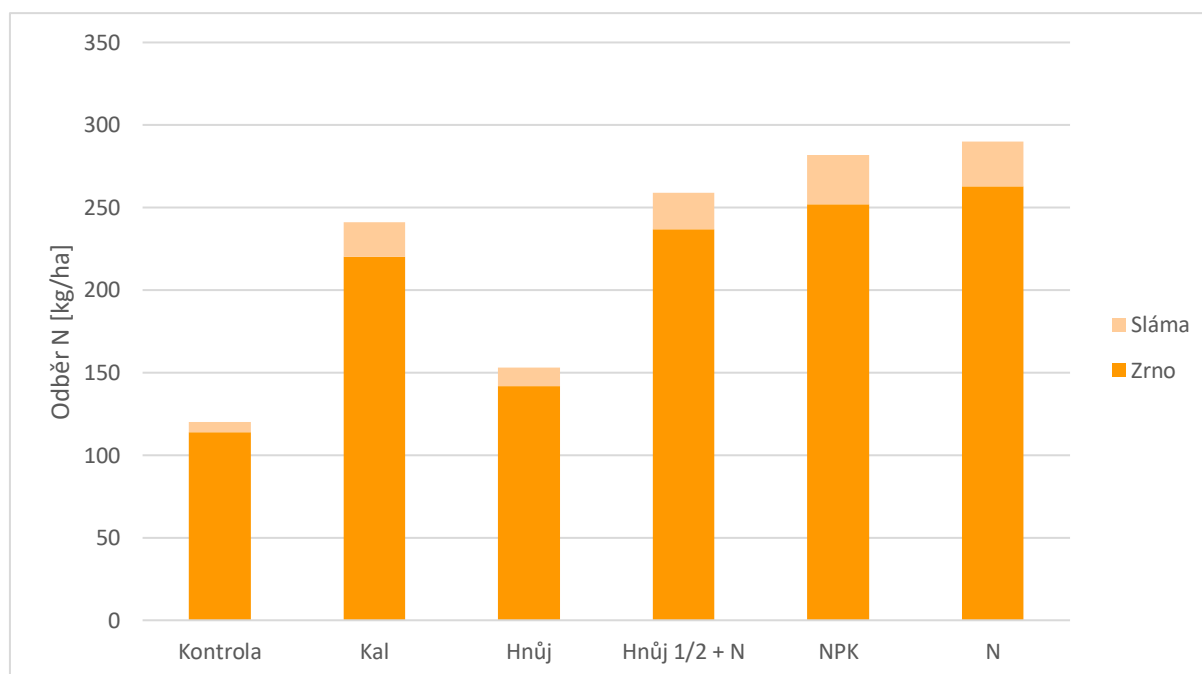
Varianta	Celkový [kg/ha]	%	Zrno [kg/ha]	% z celku	Sláma [kg/ha]	% z celku
Kontrola	139	100	118	85	20	15
Kal	178	100	139	78	38	22
Hnůj	143	100	118	83	24	17
Hnůj 1/2 + N	155	100	131	85	24	15
NPK	181	100	143	79	38	21
N	193	100	153	79	40	21

5.3.2 Humpolec

5.3.2.1 Zrno

Nejvyšší odběr byl sledován na variantě hnojené minerálním dusíkem (263 kg N/ha) a druhý nejvyšší odběr na variantě NPK (252 kg N/ha) jak je vidět v grafu 8. Při porovnání relativních odběrů zrnem na stanovišti Humpolec, je zřejmé z tabulky 16, že odběry na všech variantách, kromě varianty NPK (89 %) byly vyšší než 90 %. Množství 114 kg/ha odebrané zrnem na variantě Kontrola je tak nejnižší, ale procenticky odpovídá 96 %, což je nejvyšší relativní hodnota ze sledovaných. Z hnojených variant byl sledován nejnižší odběr na variantě Hněj, kde došlo ke zvýšení odběru N pouze o 28 kg N/ha oproti Kontrolě, ale při relativním vyjádření se jednalo o druhý nejvyšší odběr zrnem (93 %). Nejvyšší absolutní odběr zrnem byl zaznamenán na variantě N (263 kg N/ha), který tak v relativním vyjádření odpovídá 91 % stejně jako u varianty Kal, kde je ovšem odběr v absolutním vyjádření roven 220 kg N/ha.

Graf 8 Odběr dusíku zrnem a slámou Humpolec



5.3.2.2 Sláma

Nejnižší absolutní (6 kg N/ha) i relativní (4 %) odběr dusíku slámou byl sledován na nehnojené variantě Kontrola. Druhá nejnižší relativní hodnota odběru byla u varianty Hněj, kde dosáhla hodnoty 7 % a absolutní hodnoty 11 kg N/ha. Naopak nejvyšší odběr byl sledován na variantě NPK, a to jak absolutní (30 kg N/ha) tak i relativní (11 %). Druhý nejvyšší relativní odběr N byl zaznamenán na variantách Kal a N - 9 %, kde jsou ovšem rozdílné absolutní hodnoty. Na variantě Kal bylo slámou odebráno 21 kg N/ha a na variantě N bylo odebráno 27 kg N/ha. Při porovnání tabulek 15 a 16 je zřejmé, že na stanovišti Humpolec byl slámou odebírán menší podíl z celkového odběru nežli zrnem. Relativní odběry slámou v Humpolci se pohybují mezi 4 až 11 % (6 – 30 kg N/ha) a na Suchdole mezi 15 až 22 % (20 – 40 kg N/ha).

Tabulka 16 Odběr dusíku Humpolec

Varianta	Celkový [kg/ha]	%	Zrno [kg/ha]	% z celku	Sláma [kg/ha]	% z celku
Kontrola	119	100	114	96	6	4
Kal	241	100	220	91	21	9
Hnůj	153	100	142	93	11	7
Hnůj 1/2 + N	258	100	237	92	22	8
NPK	282	100	252	89	30	11
N	290	100	263	91	27	9

5.4 Bilance dusíku

Tabulky 17 a 18 znázorňují bilanci dusíku na zkoumaných stanovištích Praha–Suchdol a Humpolec. Na obou sledovaných stanovištích se bilance pohybovala v záporných hodnotách. Odběry dusíku byly větší než množství dodané hnojením. Na stanovišti Humpolec byl pozorován vyšší odběr dusíku rostlinami, než tomu bylo na Suchdole. Na organicky hnojené variantě Kal bylo rostlinou odebrané množství dusíku o 191 kg N/ha vyšší než množství živiny, které bylo poskytnuto. Naopak na stanovišti Suchdol dosahovala zjištěná bilance menších záporných hodnot. Nejmenší rozdíl mezi hnojením a odebraným množstvím živin rostlinou, tak byl zjištěn právě zde a to -19 kg N/ha na variantě se smíšeným organickým a minerálním dusíkatým hnojením.

5.4.1 Praha-Suchdol

Na stanovišti Praha-Suchdol byl zaznamenán největší rozdíl mezi dodaným dusíkem a dusíkem, který odebrala rostlina na nehnojené variantě Kontrola. Hodnota bilance zde zjištěná byla -139 kg N/ha (viz tabulka 17). Nízkých záporných hodnot bilance bylo dosaženo na variantách, kde bylo hnojení provedeno za pomoci minerálních hnojiv. Celkově nejlépe pak dopadla varianta Hnůj 1/2 + N, kde zjištěná záporná bilance byla -19 kg N/ha.

Tabulka 17 Bilance dusíku Suchdol

Varianta	Hnojení	Odběr	Bilance
Kontrola	0	139	-139
Kal *	50 ¹	178	-128
Hnůj *	33 ²	143	-110
Hnůj 1/2 * + N **	136 ³	155	-19
NPK **	140	181	-41
N **	140	193	-53

*Dávka hnojení počítaná pomocí procentuální využitelnosti v druhém roce

1. 15 % z aplikované dávky v prvním roce (Tarrasón et al. 2008)
2. 10% z aplikované dávky v prvním roce (Eghball et al. 2002)
3. 16 % z aplikované dávky v prvním roce +110 kg N/ha (Eghball 2000; Klausner et al. 1994)

**Dávka hnojení v daném roce

5.4.2 Humpolec

Z hodnot uvedených v tabulce 18 je patrné, že nejnižší záporná bilance byla zjištěna na variantě Kontrola -119 kg N/ha. Nejvyšší odběr dusíku byl u varianty N 290 kg/ha, která v bilanci měla druhou nejvyšší zápornou hodnotu a to -150 kg N/ha. Lze konstatovat, že odběr dusíku převyšoval využitelné dávky na všech sledovaných variantách. Nejvyšší využitelné množství 140 kg N/ha na minerálně hnojených variantách tedy bylo zcela nedostatečné pro výživu rostliny.

Tabulka 18 Bilance dusíku Humpolec

Varianta	Hnojení	Odběr	Bilance
Kontrola	0	119	-119
Kal *	50 ¹	241	-191
Hnůj *	33 ²	153	-120
Hnůj 1/2* + N **	136 ³	258	-122
NPK **	140	282	-142
N **	140	290	-150

* Dávka hnojení počítaná pomocí procentuální využitelnosti v druhém roce

1. 15 % z aplikované dávky v prvním roce (Tarrasón et al. 2008)
2. 10 % z aplikované dávky v prvním roce (Eghball et al. 2002)
3. 16 % z aplikované dávky v prvním roce + 110 kg N/ha (Eghball 2000; Klausner et al. 1994)

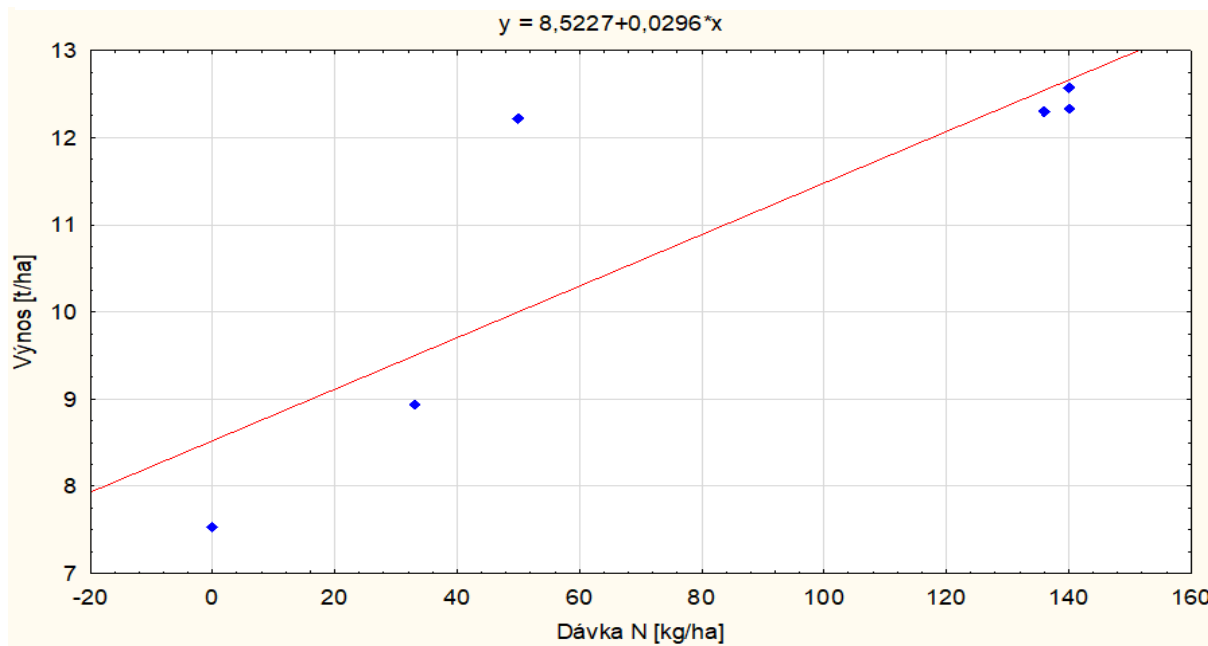
**Dávka hnojení v daném roce

6 Diskuze

6.1 Závislost výnosu na hnojení

Z dat získaných na pokusném stanovišti Humpolec je zjevná přímá závislost mezi využitelnou dávkou dusíku a výnosem zrna pšenice (viz graf 9). Dle Vári et Mária (2013) je ozimá pšenice jednou z plodin s nejvyšší reakcí na aplikaci dusíkatých hnojiv, a tedy při zvýšené aplikaci dusíku dochází ke zvýšení výnosu.

Graf 9 Závislost výnosu na hnojení Humpolec

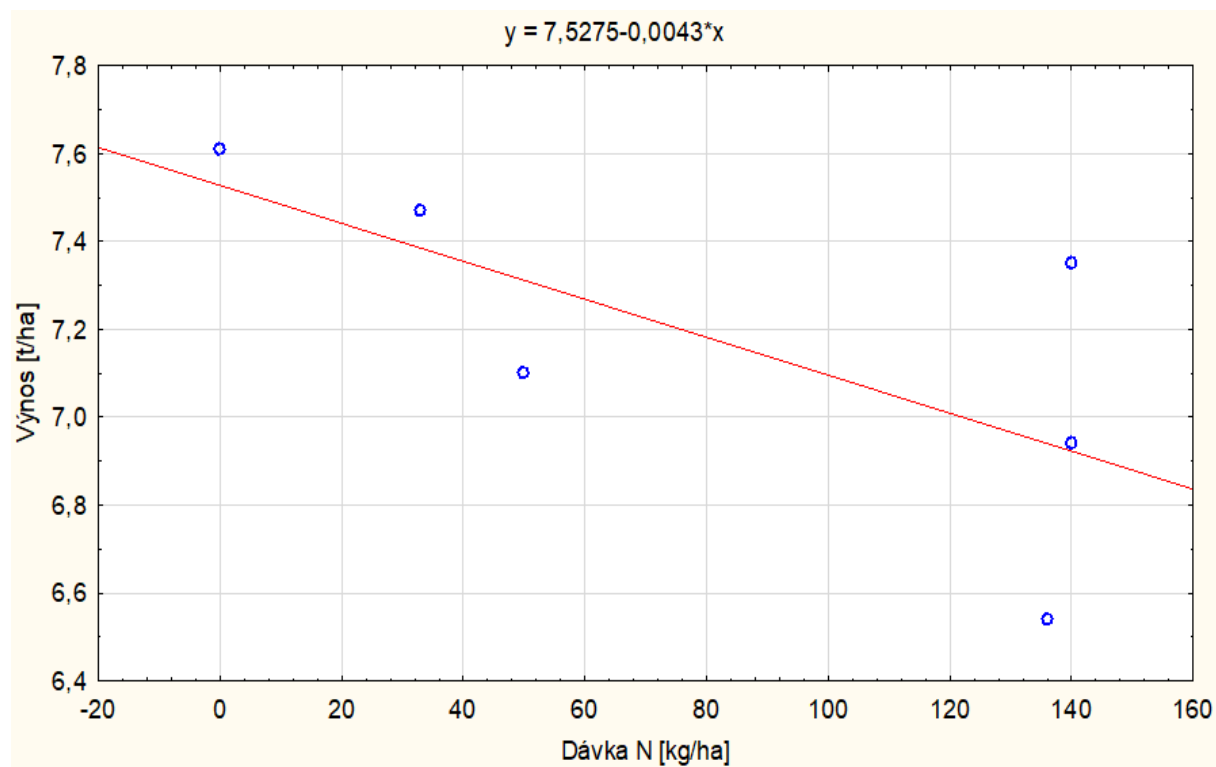


Tvrzení Vária et Mária (2013) je obtížně hodnotitelné na základě výsledků, jelikož na stanovištích s úrodnými půdami jako je Suchdol (černozemě na spraši), je přímý vliv minerálního dusíkatého hnojení na výnos výrazně nižší než na stanovištích s horšími půdními podmínkami (Humpolec). Další překážkou při hodnocení získaných výsledků jsou také vláhové poměry jednotlivých stanovišť ve sledovaném roce 2019. Na stanovišti Suchdol byl sledován nižší úhrn srážek než v Humpolci a rostlina tak nebyla schopna využít dusík z aplikovaného hnojiva (viz tabulka 19). Zde došlo k opačnému trendu než u výnosů v Humpolci, jak je vidět na grafu 11. Na stanovišti Suchdol byl nejvyšší výnos sledován u kontroly, kam nebylo aplikované žádné hnojivo. Druhý nejvyšší výnos pak byl na variantě Hnůj, kdy na stanovišti Humpolec byl naměřen výnos druhý nejnižší.

Spiertz (2010) uvádí, že vyšších výnosů obilovin bylo dosaženo na základě šlechtění vysoce výnosných a N-responzivních odrůd a většího využívání agrochemických vstupů. Optimální využití dusíku pro růst a maximalizaci výnosu je určeno vlastnostmi rostlin, fyziologickými pochody, podmínkami prostředí a řízením živin. Pomocí vhodného načasování aplikace dusíku je možné omezit stres působící na růst rostliny. Hooper et al. (2015) doporučují na základě experimentu provádět dělené aplikace dusíku do porostu. Vhodnost dělení dávek byla viditelná na stanovišti Humpolec, kde u variant s využitím minerálních hnojiv a jejich dělenou dávkou byl zjištěn vyšší výnos oproti variantě Hnůj, kde byl dusík aplikován pouze

před výsadbou předplodiny. Se zjištěnými výsledky Hoopera et al. (2015) je v rozporu varianta Kal v Humpolci a celý pokus na stanovišti Suchdol (viz graf 10). Zde byly sledovány nejnižší výnosy na variantách s dělenými aplikacemi. Tyto výsledky však mají úzkou souvislost s vláhovými poměry na stanovišti a jejich následným dopadem na nízkou využitelnost hnojiv pro rostliny.

Graf 10 Závislost výnosu na hnojení Praha-Suchdol



6.2 Pozitivní vztahy mezi hnojivy

Mezi stanovišti Humpolec a Suchdol byl sledován velký rozdíl mezi odběrem dusíku na variantě Hnůj 1/2 + N (viz výše graf 6). Dle Duana et al. (2014) je tento rozdíl možné vysvětlit pozitivním působením hnoje na příjem a využití dusíku z minerálních hnojiv na kyselých půdách. Půdní reakce na obou stanovištích je rozdílná. Půdy na Praze-Suchdol mají hodnotu pH 7,5, jsou tedy zásadité. Naopak půdy na stanovišti Humpolec mají hodnotu pH 5,1 a jsou slabě kyselé až kyselé.

Macholdt et al. (2019) uvádějí, že dodatečnou aplikací hnoje k pšenici, která je hnojena minerálními hnojivy, dochází ke zvýšení stability výnosů. Macholdt et al. (2019) a Duan et al. (2014) shodně doporučují aplikaci NPK hnojiv a hnoje současně. Při této kombinaci, dle jejich výzkumu, dochází nejen k nárůstu výnosu, ale také ke stabilizaci meziročních výnosů. Chen et al. (2018) uvádějí, že při dalším zvýšení dávky organického hnojiva v kombinaci organického a minerálního hnojení dochází k dalšímu nárůstu a stabilizaci výnosů. Naopak při aplikaci samotného hnoje je výnos nízký a meziročně nestabilní se zvýšeným dopadem klimatických změn na výnos.

Za využitelnou mezeru ve výnosech je dle Smitha et al. (2019) zodpovědný právě dusík. Tedy při nedostatečném hnojení N-hnojivy dochází k poklesu výnosu i při dostatečné aplikaci

PK hnojiv. Důležitost dusíku pro výnos byla prokázána i při aplikaci NP a NK hnojiv, kdy se výnos zrna zvýšil (Duan et al. 2014).

Dle výše uvedeného by tedy mělo platit, že na variantách Hnůj 1/2 + N, NPK a N budou ve sledovaném roce přibližně stejné úrovně výnosů i při srovnání obou sledovaných stanovišť. Dle Smitha et al. (2019) by také měly být výnosy na variantách Kontrola, kam nebylo aplikováno žádné dusíkaté hnojivo, nejnižší ve srovnání s ostatními hnojenými variantami. Z grafu 1 je patrné, že na stanovišti Humpolec opravdu došlo ke zvýšení výnosů oproti nehnojené kontrole a vyrovnání výnosů na variantách Hnůj 1/2 + N, NPK a N. Dle Chena et al. (2018) by však měl být výnos nejvyšší na variantě hnojené kombinací statkových a minerálních hnojiv, což není pozorováno ani na jednom stanovišti a dokonce na Suchdole došlo k poklesu výnosu na této variantě oproti variantě hnojené pouze hnojem. Na variantě Hnůj došlo ke shodě výsledků ze stanoviště Humpolec s hypotézou Chena et al. (2018), tedy že při aplikaci pouze statkových hnojiv bude výnos zrna oproti jiným systémům hnojení nižší a mezi jednotlivými stanovišti a lety může být i značně nevyrovnaný. Vzhledem ke sledování výsledků zahrnující pouze data za rok 2019 není možné hodnotit meziroční vyrovnanost výnosů na stanovištích.

U výsledků dosažených na stanovišti Praha-Suchdol však není možné potvrdit hypotézu Schmitha et al. (2019), jelikož nejvyššího výnosu bylo dosaženo právě na kontrole, kde nebylo aplikováno žádné dusíkaté hnojivo. Mezi variantami, které by měly vykazovat nejvyšší a nejvyrovnanější výnosy zrna (varianty Hnůj 1/2 + N, NPK a N) již byla sledována vyšší variabilita výnosů než na stanovišti Humpolec. Na Suchdole se výnosy těchto variant pohybovaly v rozmezí od 6,54 do 7,35 t/ha, kdežto v Humpolci od 12,30 do 12,57 t/ha. Na stanovišti Praha-Suchdol byl také zjištěn druhý nejvyšší výnos na variantě Hnůj, což je v přímém rozporu s hypotézou Chena et al. (2018).

6.3 Vliv vláhových poměrů ročníku na odběr N

Dle Clarka et al. (1990) a Hoopea et al. (2015) je odběr dusíku rostlinou z půdy vázán na obsah vody v půdě, potažmo na vláhové poměry daného ročníku. Z tabulky 19 je zřejmé, že na stanovišti Suchdol bylo za sledované období méně srážek (378,8 mm), než spadlo na stanovišti Humpolec, kde bylo naměřeno 663 mm.

Tabulka 19 Úhrn srážek [mm] na stanovištích od 1. 9. 2018 do 31. 7. 2019

Měsíc	Suchdol	Humpolec
Září	43	80,4
Říjen	30,9	41,9
Listopad	12,2	23,9
Prosinec	40,9	81,7
Leden	17,6	92,7
Únor	21,4	37,3
Březen	21,3	46,9
Duben	31,2	12,9
Květen	64,2	114,5
Červen	41,3	66,1
Červenec	54,8	64,7
Celkem	378,8	663

Teorii Clarka et al. (1990) a Hoopera et al. (2015) potvrzují hodnoty odběrů dusíku v tabulce 20. Všechny hodnoty odběrů jsou dle očekávání vyšší v Humpolci, kromě hodnot varianty Kontrola. To je možné vysvětlit pomocí rozdílných úrodností půd, protože na stanovišti Suchdol jsou úrodné černozemě na spraši s pH 7,5, kdežto na stanovišti Humpolec jsou kambizemě s pH 5,1. Zde je také dobře viditelná korespondence výsledků s teorií Duana et al. (2014), která uvádí synergické působení statkových a minerálních hnojiv na kyselých půdách na odběr dusíku rostlinou (viz výše). Na Suchdole v suchých podmínkách bylo odebráno 155 kg N/ha na variantě Hnůj 1/2 + N, kdežto na stanovišti Humpolec s lepšími vláhovými podmínkami bylo rostlinou odebráno o 66 % více.

Tabulka 20 Odběry dusíku na jednotlivých stanovištích

Varianta	Suchdol [kg/ha]	%	Humpolec [kg/ha]	% oproti Suchdolu
Kontrola	139	100	119	86
Kal	178	100	241	135
Hnůj	143	100	153	107
Hnůj 1/2 + N	155	100	258	166
NPK	181	100	282	156
N	193	100	290	150

Z tabulky 21 je patrná souvislost mezi odběrem dusíku z půdy a výnosem zrna. Tedy dostatek dusíku zabezpečuje vyšší výnos, což je tvrzení, ke kterému došli i Smith et al. (2019) a Duan et al. (2014). Na stanovišti Humpolec, kde bylo pozorováno vyšší množství srážek během roku, tedy bylo více vody v půdě a dusík byl lépe přijímán rostlinami, bylo dosahováno vyšších výnosů (až 12,57 t/ha), kdežto na půdách s nižším obsahem vody (Suchdol) byl odběr dusíku z půdy nižší a tím byly sledovány i nižší výnosy zrna.

Tabulka 21 Odběry dusíku z půdy a výnosy zrna

Varianta	Suchdol		Humpolec	
	Odběr [kg/ha]	Výnos [t/ha]	Odběr [kg/ha]	Výnos [t/ha]
Kontrola	139	7,61	119	7,53
Kal	178	7,10	241	12,22
Hnůj	143	7,47	153	8,94
Hnůj 1/2 + N	155	6,54	258	12,30
NPK	181	6,94	282	12,33
N	193	7,35	290	12,57

6.4 Obsah dusíkatých látek v zrně

Hřivna et al. (2004) uvádí, že hnojení dusíkem pozitivně ovlivňuje především sumu vyextrahovaných N-látek ze zrna. Nejnižší obsahy dusíkatých látek by měly být zaznamenány na variantách (Kontrola) bez aplikace dusíkatých hnojiv. Růžek et al. (2013) také zmiňuje vliv načasování aplikace dusíkatých hnojiv na obsahy N-látek. Uvádí, že dělené pozdní aplikace

pozitivně ovlivňují obsahy N-látek v zrně, ale pouze za předpokladu, že nedojde k popálení porostu, praporcových listů. Ve špičkách těchto listů je obsaženo vysoké množství přijatého dusíku (až okolo 30 kg N/ha) a při popálení může docházet k významnému omezení transportu dusíku do zrna.

Analyzované výsledky ze stanovišť Praha-Suchdol a Humpolec jsou v souladu s hypotézou Hřivny et al. (2004), kdy z tabulky 22 vyplývá, že nejnižší obsahy dusíkatých látek byly zjištěny na nehnojené kontrole. Na ostatních variantách, kde došlo k aplikaci dusíkatých hnojiv, byl zjištěn vyšší obsah N-látek v zrně. Nejvyšší obsahy byly zaznamenány na variantách hnojených minerálními hnojivy. Pšenice z těchto variant splňovala parametr obsahu dusíkatých látek v zrně pro potravinářskou pšenici (11,5 %). Vyšší obsahy je možné dle Růžka et al. (2013) vysvětlit právě dělenou aplikací dusíkatých hnojiv v průběhu vegetačního období. Hypotézu potvrzují také výsledky na variantě Hnůj 1/2 + N, kde celková aplikovaná dávka N byla nižší než u variant pouze s minerálními hnojivy, ale na rozdíl od variant Kal a Hnůj došlo u minerálního podílu k dělené aplikaci během vegetace a obsah N-látek v zrně je vyšší než na zmíněných variantách pouze se základním hnojením.

Tabulka 22 Obsahy N-látek v zrně na stanovištích Suchdol a Humpolec

Varianta	Obsah N-látek v zrně [%]	
	Suchdol	Humpolec
Kontrola	8,88	8,60
Kal	11,17	10,25
Hnůj	9,03	9,05
Hnůj 1/2 + N	11,41	10,96
NPK	11,74	11,66
N	11,86	11,91

7 Závěr

V rámci bakalářské práce byla analyzována a vyhodnocována data za rok 2019, získaná ze dvou stanovišť, Praha-Suchdol a Humpolec. Na každém stanovišti bylo pozorováno šest variant – Kontrola, Kal, Hnůj, Hnůj 1/2 + N, NPK a N. Z vyhodnocených výsledků vyplývají následující závěry:

- Při hodnocení výše výnosu zrna sledovaných variant na jednotlivých stanovištích byl zjištěn opačný trend ve vývoji. Na stanovišti Praha-Suchdol došlo u hnojených variant k poklesu výnosu oproti Kontrole a na stanovišti Humpolec tomu bylo naopak.
- Na stanovišti s vyšším množstvím srážek dochází k vyššímu odběru dusíku rostlinami nežli v suchých podmínkách.
- Na kyselých půdách byl sledován pozitivní vliv kombinace organického a minerálního hnojení na výši odběru dusíku z půdy rostlinou.
- S vyšším výnosem se zvyšuje odběr dusíku z půdy, tedy, příjem dusíku je vázán na výnos pšenice.
- Aplikace 140 kg N/ha byla na základě obecně platných odběrových normativů nedostatečná pro výživu porostů s výnosy 6,94 až 12,57 t/ha.
- Na stanovišti Humpolec byl nižší podíl dusíku ve slámě (4 – 11 % z celkového odběru) oproti stanovišti Suchdol (15 – 22 % z celkového odběru).
- Aplikace minerálních dusíkatých hnojiv zvyšuje obsah dusíkatých látek v zrně a napomáhá zlepšovat potravinářskou jakost zrna.

Hypotéza 1.

Hypotéza předpokládající nejvyšší výnosy na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy oproti variantám hnojených pouze organickými hnojivy nebyla prokázána, jelikož ve sledovaném roce 2019 byly na pokusném stanovišti Praha-Suchdol zjištěny nejvyšší výnosy na variantách nehnojených a hnojených organickými hnojivy.

Hypotéza 2.

Předpoklad hypotézy, že celkový odběr dusíku bude vyšší na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy než na variantách, kde bylo použito organické hnojení, se potvrdil. Z výsledků vyplývá, že celkové odběry dusíku byly na obou sledovaných stanovištích nejvyšší právě u variant, kde bylo použito minerální dusíkaté hnojení.

8 Literatura

- Anonym, 2016. Pšenice ozimá RGT Reform. Available from <http://www.znz.cz/download/344-vpagro-listovka-a4-reform-05-16.pdf> (accessed April 2020).
- Anonym, nedatováno. Pšenice ozimá. Elita semenářská. Available from <http://www.elita.cz/psenice-oz-ragt-czech---vp-agro> (accessed April 2020).
- Aulakh, M. S. (2003). Crop Responses to Sulphur Nutrition. In *Sulphur in Plants* (pp. 341–358). Springer Netherlands.
- Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. (2012). Bilance dusíku v zemědělství. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M., Sedlář, O. (2018). Uplatnění bóru a molybdenu ve výživě rostlin. Pages 15-22 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Bittner, V. (2009). Škodlivé organismy pšenice. Kurent, České Budějovice.
- Bremner, J. M., (1965). Organic nitrogen in soils. In: Bartholomew, W.V., Clark, F.E., editors. *Soil Nitrogen*. Agronomy No. 10. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. 93-149.
- Buchholz, D. (nedatováno). Nitrogen in the plant. Extension University of Missouri. Available from https://extension2.missouri.edu/wq259?fbclid=IwAR1uUOs6wJncojKabQctDI919w4ju_T-ATZ_q4p5w77I7xwYyfBrrvl-Ci8 (accessed August 2019)
- Burger, M., & Jackson, L. E. (2003). Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 29-36.
- Cameron, K. C., Di, H. J., Moir, J. L. (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. *Annals of Applied Biology*.
- Clarke, J. M., Campbell, C. A., Cutforth, H. W., DePauw, R. M., Winkleman, G. E. (1990). Nitrogen and phosphorus uptake, translocation, and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Canadian Journal of Plant Science*, 70(4), 965-977.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Časová, K., Nedvěd, V. (2010). Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant Soil Environ*. 56, 28-36.
- Černý, J., Balík, J., Švehla, P., Kulhánek, M. (2009). Využití odpadů z čov jako zdroje organických látek a živin. Pages 36-41 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 15. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Černý, J., Shejbalová, Š., Kovařík, J., Kulhánek, M. (2014). Předset'ové a podzimní hnojení pšenice ozimé. *Agromanual*, Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed August 2019).
- Duan, Y., Xu, M., Gao, S., Yang, X., Huang, S., Liu, H., Wang, B. (2014). Nitrogen use efficiency in a wheat–corn cropping system from 15 years of manure and fertilizer applications. *Field Crops Research*, 157, 47-56.

Ducsay, L., Provazník, M. (2018). Výživa a hnojení ozimnej pšenice na jeseň. Agromanual. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vyziva-a-hnojenie-ozimnej-pšenice-na-jesen> (accessed September 2019).

Eghball, B. (2000). Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal* 64: 2024-2030.

Eghball, B., Wienhold, B. J., Gilley, J. E., Eigenberg, R. A. (2002). Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Water Conserv.* 57, 470-473.

Faměra, O. (1993). Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, Praha.

FAO (2019). FAOSTAT. FAO. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (accessed August 2019).

Hänsch, R., Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*.

Hooper, P., Zhou, Y., Coventry, D. R., McDonald, G. K. (2015). Use of Nitrogen Fertilizer in a Targeted Way to Improve Grain Yield, Quality, and Nitrogen Use Efficiency. *Agronomy Journal*, 107(3), 903-915.

Horáková, V., Dvořáčková, O. (2019). Seznam doporučených odrůd 2019. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Brno.

Hřivna, L. (2012). Výživa a hnojení porostů pšenice ozimé a kvalita produkce. Družstvo vlastníků odrůd. Available from http://farmseed2.druvod.cz/files/aktuality/vyziva_a_hnojeni_porostu_pšenice_ozime_a_kvalita_produkce.pdf (accessed August 2019).

Hřivna, L., Hurtová, L., Gálová, J. (2004). Vliv hnojení dusíkem a sírou na podíl bílkovinných frakcí pšenice ozimé. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. Available from https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2004052040007.pdf?fbclid=IwAR3EHXkK92p2wV5yX-rQI_pwbVYWkTPxdvJr0BORI7LSLBu4S8HcRcpAgV0 (accessed May 2020).

Hubík, K., Mareček, J. (2002). Kvalita obilnin. Úroda. Available from <https://www.uroda.cz/kvalita-obilnin/> (accessed August 2019).

Chen, H., Deng, A., Zhang, W., Li, W., Qiao, Y., Yang, T., ... Chen, F. (2018). Long-term inorganic plus organic fertilization increases yield and yield stability of winter wheat. *Crop Journal*, 6(6), 589–599.

Chloupek, O. (2008). Kvalita produkce pšenice. Pages 134-136 in Hosnedl, V., Doležal, J., Chloupek, O., Hořčíčka, P., editors. *Pšenice od genomu po rohlík*. Kurent, České Budějovice.

Javor, T., Balík, J., Černý, J., Beranová, L. (2019). Vliv hnojení sírou na strukturu výnosu ozimé pšenice. Pages 93-96 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 25. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Javor, T., Černý, J., Balík, J., Beranová, L. (2018). Upřesnění diagnostických metod pro optimalizaci hnojení ozimé pšenice sírou. Pages 89-92 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Jenkinson, D. S. (1990). The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 329 (1255), 361-368.

- Jiang, B., Tsao, R., Li, Y., Miao, M. (2014). Food Safety: Food Analysis Technologies/Techniques. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 273–288). Elsevier.
- Klas, M., Klasová, M. (2017). Závislost výnosu pšenice ozimé na obsahu živin v půdě (Ca, Mg, P, K, S a pH v časové řadě 2011 - 2015). *Agroscience, Chrášťany*.
- Klausner, S.D., Kanneganti, V.R., Bouldin, D.R. (1994). An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manures. *Agronomy Journal* 86: 897-903.
- Knoepp, J. D., & Swank, W. T. (2002). Using soil temperature and moisture to predict forest soil nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils*, 36(3), 177-182.
- Kobza, J., Ložek, O., Slamka, P., Ducsay, L. (2018). Problematika mikroelementov na Slovensku. Pages 71-78 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kováč, K., Kubinec, S., Ďudák, J., Halás, L., Herzová E., Gromová, A., Ložek, O., Stehlo, P. (1998). *Pestovanie ozimnej pšenice a pôdoochranárske technológie pestovania obilnín*. Výzkumný ústav rastlinnej výroby, Piešťany.
- Křen, J. (2018). Výnosotvorné prvky pšenice. Page 47 in Horáková, V., Dvořáčková, O., editors. *Seznam doporučených odrůd 2019*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Brno.
- Křen, J. (2019). Výnosotvorné prvky pšenice. Page 51 in Horáková, V., Dvořáčková, O., editors. *Seznam doporučených odrůd 2019*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Brno.
- Křen, J., Houšť, M., eudert, L., Smutný, V. (2018). Management posklizňových zbytků při zakládání porostů ozimé pšenice a jarního ječmene. *Mendelova univerzita v Brně, Brno*.
- Kulhánek, M., Balík, J., Černý, J., Kozlovský, O. (2009). Hnojení pšenice ozimé síranem vápenatým. Pages 110-115 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 15. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kulhánek, M., Černý, J., Balík, J., Sedlář, O. (2018). Úloha železa, manganu, mědi a zinku ve výživě rostlin. Pages 23-32 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kůst, F., Záruba, J. (2018). *Situační a výhledová zpráva obiloviny*. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Macholdt, J., Piepho, H. P., & Honermeier, B. (2019). Mineral NPK and manure fertilisation affecting the yield stability of winter wheat: Results from a long-term field experiment. *European Journal of Agronomy*, 102, 14–22.
- Martens, D. A. (2004). Denitrification. In *Encyclopedia of Soils in the Environment* (Vol. 4, pp. 378–382). Elsevier Inc.
- Mata-Alvarez, J., Macé, S., & Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3–16.
- Mengel, K. et Kirby E. A. (2006). *Principles of plant nutrition*. (Fifth Edition); Springer/Star Educational Books Distributor Pvt. Ltd; 849.
- Pavlíková, D., Balík, J., Pavlík, M., Tlustoš, P., Vaněk, V. (2007). Dusík v rostlině a jeho využití. Pages 28-33 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 13. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

- Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. (2008). Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia* XII, 4:3-8.
- Pazderů, K., Bečka, D., Capouchová, I., Dvořák, P., Procházka, P., Urban, J. (2018). Pěstovní rostlin - cvičení. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha
- Pias, O. H. D. C., Tiecher, T., Cherubin, M. R., Mazurana, M., & Bayer, C. (2019). Crop yield responses to sulfur fertilization in brazilian no-till soils: A systematic review. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 43.
- Richter, R., Hlušek, J. (1999). Výživa a hnojení rostlin, I. obecná část. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.
- Růžek, P., Kusá, H., Vavera, R. (2013). Pozdní přihnojení ozimé pšenice dusíkatými hnojivy. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha Ruzyně, Praha. Available from https://www.vurv.cz/sites/File/Pozdni%20prihnojeni%20-%20www%20VURV%2023-05-2013.pdf?fbclid=IwAR2RN0daUntzhllKiX9aZ2i6_qHlhiKwU1kRnN_O0vYWwe4dX8hOS_pnoTQ (accessed May 2020).
- Ryant, P., Antošovský, J., Škarpa, P. (2017). Hnojení pšenice ozimé na jaře. *Agromanual*. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-psenice-ozime-na-jare> (accessed September 2019).
- Skiba, U. (2008). Denitrification. In *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set* (pp. 866–871). Elsevier Inc.
- Smith, C. J., Hunt, J. R., Wang, E., Macdonald, B. C. T., Xing, H., Denmead, O. T., ... Zhao, Z. (2019). Using fertiliser to maintain soil inorganic nitrogen can increase dryland wheat yield with little environmental cost. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 286.
- Smutný, V., Vrtílek, P., Dryšlová, T., Neudert, L., Křen, J. (2018). Význam agrotechnických faktorů při pěstování ozimé penice v systému bez živočišné výroby. *Agromanuál*. Available from https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/vyznam-agrotechnicky-ch-faktoru-pri-pestovani-ozime-psenice-v-systemu-bez-zivocisne-vyroby?fbclid=IwAR23tFi6guosOVmb3KaCYh9hl_jU0tJFtSO7zK3HtLCSYdVTN4daAzcmDAo (accessed August 2019).
- Spiertz, J. H. J. (2010). Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), 43-55.
- Stevenson, F. J. (1982). Nitrogen in agricultural soils. *American Society of Agronomy Monograph Series – No. 22*; Madison, Wisconsin, USA. 940.
- Stevenson, F. J., Cole, M. A. (1999): The nitrogen cycle in soil: Global and ecological aspects. In *Cycles of Soil*, 2nd ed.: Wiley: New York, 139-190.
- Škarpa, P., Ryant, P., Antošovský, J. (2016). Základní hnojení pšenice ozimé. *Agromanual*. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed September 2019).
- Šnobl, J. et al. (2007). *Základy rostlinné produkce*. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze, Praha.
- Tajer, A. (2016). What's the function of Nitrogen (N) in plants?. Greenway Biotech, Inc. Available from https://extension2.missouri.edu/wq259?fbclid=IwAR1uUOs6wJncojKabQctDI919w4ju_T-ATZ_q4p5w77I7xwYyfBrrvl-Ci8 (accessed August 2019).

- Tarrasón, D., Ojeda, G., Ortiz, O., Alcañiz, J.M. (2008). Differences on nitrogen availability in a soil amended with fresh, composted and thermally-dried sewage sludge. *Bioresource Technology*, 99(2), 252-259.
- Urban, J., Vašák, J. (2016). *Zemědělské systémy II. (rostlinná produkce)*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012). *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha.
- Vaněk, V., Balík, J., Ložek, O., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2013). *Výživa polních a záhradních plodin*. Profi Press, Nitra.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2016). *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press, Praha.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Kolář, L. (2018). Význam a poslání mikroelementů ve výživě rostlin. Pages 9-14 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2007). *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, Praha.
- Vaněk, V., Němeček, R., Najmanová, J. (1997 a). Vliv stanoviště a způsobu hospodaření na obsah minerálního a mineralizovatelného dusíku v půdách. *Rostlinná výroba*, 43, 463-471.
- Vaněk, V., Pavlíková, D., Balík, J., Tlustoš, P. (1997 b). Dusík v půdě a jeho přeměny. *Sborník z 3. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. ČZU, Praha, 8-11.
- Vaněk, V., Pavlíková, D., Balík, J., Tlustoš, P. (1997 c). Dusík v půdě a jeho přeměny. Pages 8-14 in Brodský, L., editor. *Sborník z konference Racionální použití průmyslových hnojiv*. Katedra agrochemie a výživy rostlin ČZU Praha, Praha.
- Vári, E., Máriás, K. (2013). The Impact of Crop Rotation and N Fertilization on the Leaf Area Index, Leaf Disease and Yield of Winter Wheat. *International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering* 7(11), 693-696.
- Wigley, C., Bekes, F. (2004). Processing quality requirements for wheat and other cereal grains. Pages 349-388 in Benech-Arnold, R. L., Sánchez, R. A., editors. *Handbook of seed physiology*. Food Products Press, New York, London, Oxford.
- Woldendorp, J. W. (1975). Nitrification and denitrification in the rhizosphere, *Bulletin de la Société Botanique de France*, 122:sup2, 89-107.
- Zhou, T., Xu, K. W., Liu, W. G., Zhang, C. C., Chen, Y. X., & Yang, W. Y. (2017). More aboveground biomass, phosphorus accumulation and remobilization contributed to high productivity of intercropping wheat. *Int. J. Plant Prod*, 11, 407-424.
- Zimolka, J., Edler, S., Hřivna, L., Jánský, J., Kraus, P., Mareček, J., Novotný, F., Richter, R., Říha, K., Tichý, F. (2005). *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press, Praha.

